

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发 2013 年工程建设标准规范制订修订计划的通知》（建标 [2013] 6 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本规程。

本规程的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 材料和设计指标；5. 设计和计算；6. 构造规定；7. 铸钢件加工；8. 结构安装；9. 防护和保养；10. 检测和监测；11. 工程验收。

本规程由住房和城乡建设部负责管理，由中国建筑第六工程局有限公司和天津大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送中国建筑第六工程局有限公司（地址：天津市滨海新区塘沽杭州道 72 号，邮编：300451）。

本 规 程 主 编 单 位：中国建筑第六工程局有限公司
天津大学

本 规 程 参 编 单 位：宝钢钢构有限公司
北京机电院高技术股份有限公司
北京市建筑工程研究院有限责任公司
重庆大学
哈尔滨工业大学
江苏永益铸管股份有限公司
兰州理工大学
清华大学
上海建科工程咨询有限公司
上海祥谷钢结构工程有限公司
太原理工大学

天津大学建筑设计研究院
天津市房屋建筑钢结构技术工程中心
天津市建筑设计院
同济大学
吴桥盈丰钢结构铸钢件制造有限公司
浙江东南网架股份有限公司
浙江精工钢构有限公司
中国建筑股份有限公司
中国建筑科学研究院
中国建筑设计研究院
中国建筑西南设计研究院有限公司
中建钢构有限公司
中建六局安装工程有限公司
中冶建筑研究总院有限公司

本规程主要起草人员： 陈志华 王存贵 曹富荣 曹正罡
程书华 杜澎泉 段 斌 范 重
冯 远 顾 军 郭彦林 贺明玄
蒋立红 李海旺 李永红 李元齐
刘红波 刘界鹏 陆海英 吕黄兵
王小盾 王秀丽 王亚峰 徐瑞龙
许 斌 闫翔宇 杨来盈 余 流
张海军 张晶波 张云富 章亚红
赵鹏飞 赵宪忠 钟 威 周观根
本规程主要审查人员： 马克俭 柴 昶 任庆英 鲍广鉴
陈敖宜 范 峰 张其林 王元清
赵 阳

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	基本规定	5
4	材料和设计指标	6
4.1	铸钢材料	6
4.2	连接材料	9
4.3	设计指标	10
5	设计和计算	13
5.1	设计原则	13
5.2	构件	14
5.3	连接	17
5.4	节点	18
5.5	节点有限元分析原则	19
5.6	试验	20
6	构造规定	22
6.1	一般规定	22
6.2	连接	22
6.3	构件和节点	23
7	铸钢件加工	26
7.1	一般规定	26
7.2	铸造和热处理	26
7.3	缺陷修补	27
7.4	打磨、气割和机械加工	29

7.5	铸钢件检验	30
7.6	铸钢件验收	34
8	结构安装	35
8.1	一般规定	35
8.2	吊装	36
8.3	组装	37
8.4	焊接	38
9	防护和保养	43
9.1	一般规定	43
9.2	防腐	44
9.3	防火	44
9.4	维护和保养	44
10	检测和监测	46
10.1	一般规定	46
10.2	检测	46
10.3	监测	47
11	工程验收	50
附录 A	铸钢材料性能	52
附录 B	建筑常用铸钢节点形式	58
附录 C	铸钢件焊缝内部缺陷检测	60
	本规程用词说明	64
	引用标准名录	65

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Basic Requirements	5
4	Materials and Design Indexes	6
4.1	Selection of Cast Steel	6
4.2	Selection of Connection Materials	9
4.3	Design Indexes	10
5	Design and Calculation	13
5.1	Design Principle	13
5.2	Member	14
5.3	Connection	17
5.4	Joint	18
5.5	FEA Principles of Joint	19
5.6	Test	20
6	Detailing Requirements	22
6.1	General Requirements	22
6.2	Connection	22
6.3	Member and Joint	23
7	Steel Casting Processing	26
7.1	General Requirements	26
7.2	Casting and Heat Treatment	26
7.3	Repair of Defects	27
7.4	Polishing, Gas Cutting and Machining	29

7.5	Steel Casting Inspection	30
7.6	Steel Casting Acceptance Inspection	34
8	Structure Installation	35
8.1	General Requirements	35
8.2	Hoisting	36
8.3	Assembling	37
8.4	Welding	38
9	Protection and Maintenance	43
9.1	General Requirements	43
9.2	Corrosion Prevention	44
9.3	Fire Prevention	44
9.4	Maintenance and Service	44
10	Detection and Monitoring	46
10.1	General Requirements	46
10.2	Detection	46
10.3	Monitoring	47
11	Acceptance Inspection	50
Appendix A	Properties of Cast Steel	52
Appendix B	Common Forms of Building Cast-Steel	
	Joint	58
Appendix C	Interior Defect Detection of Cast-Steel	
	Weld	60
	Explanation of Wording in This Specification	64
	List of Quoted Standards	65

1 总 则

1.0.1 为在铸钢结构建造过程中贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、经济合理、安全适用和确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于建筑工程中铸钢结构和铸钢件的设计、加工、安装、防护、检测、监测及验收。本规程不适用于直接承受反复动力荷载作用并需要疲劳计算的结构。

1.0.3 铸钢结构和铸钢件的设计、加工、安装、防护、检测、监测和验收，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 铸钢件 cast-steel element

铸钢材料通过铸造工艺形成的零件，可采用单件形式存在的结构构件或节点，或结构构件或节点的组合，是形成铸钢结构的基本单元。

2.1.2 铸钢结构 cast-steel structure

以铸钢材料为主体结构制作的结构。

2.1.3 铸钢构件 cast-steel member

以铸钢材料制作的结构构件。

2.1.4 铸钢节点 cast-steel joint

以铸钢材料制作的连接铸钢构件或钢结构构件的节点。

2.1.5 倒圆角 fillet

铸钢件相交壁两侧的圆角，分为内圆角和外圆角。

2.1.6 型腔 mold cavity

铸型中的空腔部分，浇注后形成铸钢件和浇冒口系统的金属体。

2.1.7 型芯 core

为获得铸钢件的内孔或局部外形，用芯砂或其他材料制成的、安放在型腔内部的铸型组元。

2.1.8 焊补 repair welding

技术条件允许时，用焊接修补有缺陷铸钢件的方法。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应设计值

M_x 、 M_y ——同一截面处绕 x 轴和 y 轴的弯矩；

N ——轴心拉力或压力；

V ——计算截面沿腹板平面作用的剪力。

2.2.2 计算指标

C_{eq} ——碳当量；

E ——弹性模量；

f ——抗拉、抗压、抗弯强度设计值；

f_{ce} ——端面承压强度设计值；

f_t^w 、 f_c^w ——对接焊缝的抗拉、抗压强度设计值；

f_u ——抗拉强度最小值；

f_v ——抗剪强度设计值；

f_y ——屈服强度；

G ——剪切模量；

KV_2 ——冲击吸收能量；

N_c ——受压铸钢空心球的受压承载力设计值；

N_t ——受压铸钢空心球的受拉承载力设计值；

R_{eH} ——上屈服强度；

$R_{\text{p0.2}}$ ——屈服强度，规定塑性延伸率为 0.2% 时的强度；

R_m ——抗拉强度；

α ——线膨胀系数；

ρ ——质量密度；

σ ——正应力；

σ_{ZS} ——折算应力；

σ_1 、 σ_2 、 σ_3 ——计算点处第一、第二、第三主应力；

τ ——剪应力。

2.2.3 几何参数

A ——铸钢构件的毛截面面积；

A_n ——铸钢构件的净截面面积；

d ——与铸钢空心球相连的受压钢管外径；

D ——铸钢空心球的外径；

I ——毛截面惯性矩；

- l_w ——焊缝长度；
 r ——外侧倒圆角半径；
 S ——计算剪应力处以上毛截面对中和轴的面积矩；
 t ——铸钢空心球的壁厚；
 t_{\min} ——对接接头中连接件的较小厚度；
 t_w ——腹板厚度；
 W_{nx} 、 W_{ny} ——对 x 轴和 y 轴的净截面模量；
 W_x 、 W_y ——对 x 轴和 y 轴的毛截面模量；
 W_{1x} ——在弯矩作用平面内对较大受压纤维的毛截面模量。

2.2.4 计算系数及其他

- R_a ——表面粗糙度；
 β_f ——折算应力的强度设计值增大系数；
 β_{mx} 、 β_{my} ——弯矩作用平面内稳定计算的等效弯矩系数；
 β_{tx} 、 β_{ty} ——弯矩作用平面外稳定计算的等效弯矩系数；
 γ_x 、 γ_y ——截面塑性发展系数；
 δ ——伸长率；
 η_c 、 η_t ——受压、受拉铸钢空心球的加肋承载力提高系数；
 λ_x 、 λ_y —— x 、 y 轴方向的轴心受压构件长细比；
 φ_x 、 φ_y ——弯矩作用平面内、外的轴心受压构件稳定系数；
 φ_{bx} 、 φ_{by} ——均匀弯曲的受弯构件整体稳定性系数；
 φ ——轴心受压构件的稳定系数；
 φ_b ——受弯构件整体稳定系数；
 ψ_z ——收缩率。

3 基本规定

3.0.1 铸钢结构设计应在分析经济性和技术可行性的基础上，应优化地选择合理的结构体系、构件类别、节点形式、连接构造、材料、加工工艺、防火和防腐蚀要求。

3.0.2 铸钢结构设计应采用以概率理论为基础的极限状态设计法，应用分项系数设计表达式进行计算。

3.0.3 铸钢结构设计的重要性系数应根据结构的安全等级、设计使用年限确定。对于局部采用的铸钢构件和节点，其重要性系数不应小于主体结构的重要性系数。

3.0.4 铸钢结构设计应满足承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求。

3.0.5 对直接承受不包括反复动力荷载的动力荷载和间接承受动力荷载以及低温环境下工作的铸钢结构，焊接时宜采用低氢型焊条。

3.0.6 设计文件中，除应注明设计使用年限、铸钢牌号、连接材料的型号或钢号，以及铸钢力学性能、化学成分的附加保证项目外，尚应注明铸钢结构焊接质量要求。

3.0.7 铸钢件的构造应符合结构计算，传力可靠，减小应力集中程度。当构件在节点偏心相交时，应考虑附加弯矩的影响。

3.0.8 构造复杂的铸钢件承载力应通过有限元分析确定，宜通过试验验证。

3.0.9 铸钢件应进行正火或调质热处理，在铸造过程中应控制浇注温度和速度，铸造工艺应保证铸钢件内部组织致密、均匀。

3.0.10 焊接施工前，施工单位应以合格的焊接工艺评定结果为依据编制焊接工艺文件。

4 材料和设计指标

4.1 铸钢材料

4.1.1 铸钢材料应综合考虑结构的重要性、荷载特性、结构形式、应力状态、连接方法、铸钢厚度、铸造工艺、工作环境和造价等因素，选用合理的铸钢牌号、热处理工艺及材料性能保证项目。

4.1.2 铸钢材料应具有屈服强度、抗拉强度、伸长率和碳、硅、锰、硫、磷、微量合金元素等含量的合格保证，对焊接铸钢件还应有碳当量的合格保证；对直接承受动力荷载的铸钢件应具有按其环境温度要求的冲击吸收能量合格保证。

4.1.3 抗震设防的铸钢结构，其材料性能应符合下列规定：

1 材料的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85；

2 材料应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于 20%；

3 材料应有良好的焊接性和冲击韧性。

4.1.4 铸钢件与钢材牌号选用应符合下列规定：

1 焊接结构的节点与构件宜选用牌号 ZG230-450H、ZG270-480H、ZG300-500H 和 ZG340-550H 的铸钢件，其材质和性能除应符合本规程第 A.0.1 条的规定外，尚应符合现行国家标准《焊接结构用铸钢件》GB/T 7659 的规定；也可选用牌号 G17Mn5QT、G20Mn5N 和 G20Mn5QT 的铸钢件，其材料和性能应符合本规程第 A.0.1 条的规定；

2 非焊接结构的节点与构件宜选用牌号 ZG230-450、ZG270-500、ZG310-570 和 ZG340-640 的铸钢件，其材质和性能除应符合本规程第 A.0.2 条的规定外，尚应符合现行国家标准《焊接结构用铸钢件》GB/T 7659 的规定；

3 结构用铸钢管宜选用牌号 LX235、LX345、LX390 和 LX420 的铸钢管，其材质和性能除应符合本规程第 A.0.3 条的规定外，尚应符合现行国家标准《焊接结构用铸钢件》GB/T 7659 的规定；

4 当选用其他牌号的铸钢时，应提供质量证明文件，并经技术经济比较和论证后方可选用；

5 铸钢结构中的非铸钢构件，其钢材牌号、材质及性能宜与相关铸钢构件相匹配，并应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。

4.1.5 铸钢件应避免壁厚急剧变化，且壁厚不宜大于 150mm。当壁厚大于 100mm 时，其屈服强度、伸长率、收缩率和冲击吸收能量等各项材料性能指标应经试验验证合格后方可选用。

4.1.6 铸钢材料的力学性能试块的形状、尺寸、浇注方法和试样切取位置应符合现行国家标准《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352 的规定。

4.1.7 可焊接铸钢结构的铸钢件材料性能可按表 4.1.7 选用；非焊接铸钢件材料性能亦可按表 4.1.7 选用，可不要求碳当量作为保证条件；结构用铸钢管的材料性能亦可按表 4.1.7 选用。

表 4.1.7 焊接铸钢结构的选材要求

序号	荷载特性	受力状态	工作环境温度 (°C)	要求性能项目	宜选用铸钢牌号
1	承受静力荷载或间接动力荷载	简单受力状态 (单、双向受力状态)	> -20	屈服强度、抗拉强度、伸长率、收缩率、碳当量、常温冲击吸收能量 $KV_2 \geq 34J$	ZG230-450H ZG270-480H ZG300-500H ZG340-550H G20Mn5N LX235, LX345 LX390, LX420

续表 4.1.7

序号	荷载特性	受力状态	工作环境温度 (°C)	要求性能项目	宜选用铸钢牌号
2	承受静力荷载或间接动力荷载	简单受力状态 (单、双向受力状态)	≤ -20	屈服强度、抗拉强度、伸长率、收缩率、碳当量、0°C 冲击吸收能量 $KV_2 \geq 34J$	ZG270-480H ZG300-500H ZG340-550H G20Mn5N LX235, LX345
3		复杂受力状态 (三向受力状态)	> -20	屈服强度、抗拉强度、伸长率、收缩率、碳当量、0°C 冲击吸收能量 $KV_2 \geq 34J$	ZG270-480H ZG300-500H ZG340-550H G20Mn5N LX235, LX345
4			≤ -20	屈服强度、抗拉强度、伸长率、收缩率、碳当量、-20°C 冲击吸收能量 $KV_2 \geq 34J$	ZG300-500H ZG340-550H G17Mn5QT G20Mn5N LX235, LX345
5	承受直接动力荷载或 7~9 度设防的地震作用	简单受力状态 (单、双向受力状态)	> -20	屈服强度、抗拉强度、伸长率、收缩率、碳当量、0°C 冲击吸收能量 $KV_2 \geq 34J$	ZG270-480H ZG300-500H ZG340-550H G20Mn5N LX235, LX345
6			≤ -20	屈服强度、抗拉强度、伸长率、收缩率、碳当量、-20°C 冲击吸收能量 $KV_2 \geq 34J$	ZG300-500H ZG340-550H G17Mn5QT G20Mn5N LX235, LX345

续表 4.1.7

序号	荷载特性	受力状态	工作环境温度 (°C)	要求性能项目	宜选用铸钢牌号
7	承受直接动力荷载或 7~9 度设防的地震作用	复杂受力状态 (三向受力状态)	> -20	屈服强度、抗拉强度、伸长率、收缩率、碳当量、-20°C 冲击吸收能量 $KV_2 \geq 34J$	ZG300-500H ZG340-550H G17Mn5QT G20Mn5N LX235, LX345
8			≤ -20	屈服强度、抗拉强度、伸长率、收缩率、碳当量、-40°C 冲击吸收能量 $KV_2 \geq 34J$	ZG300-500H ZG340-550H G17Mn5QT G20Mn5N G20Mn5QT LX235, LX345

注：1 当设计要求屈强比、收缩率、低温冲击吸收能量或碳当量限值，而铸钢材料标准中无此相应指标时，应在订货时作为附加保证条件提出要求。

2 选用 ZG 牌号铸钢时，含碳量不宜大于 0.22%，磷、硫含量均不宜大于 0.03%。

3 选用铸钢材料时，亦可按性能要求，提出降低硫、磷含量或采用热处理工艺等附加技术要求，提高铸件的延性、抗冲击韧性和焊接性能。

4.2 连接材料

4.2.1 铸钢结构所用焊接材料的品种与牌号，应根据铸钢件的强度、厚度、碳当量指标、热处理条件和与相连接构件焊接要求相协调等因素，按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 和《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定，选用适用牌号和性能的焊条、焊丝和焊剂。壁厚较厚和形状复杂的铸钢件，焊接材料应根据焊接工艺评定结果确定。

4.2.2 焊接铸钢结构用焊接材料应符合下列规定：

1 手工焊接所用的焊条，应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 或《热强钢焊条》GB/T 5118 的规定，所选用的焊条型号应与主体金属力学性能相适应；

2 自动焊或半自动焊用焊丝应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110、《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045 和《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493 的规定；

3 埋弧焊用焊丝和焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用碳素钢焊丝和焊剂》GB/T 5293 和《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470 的规定。

4.2.3 铸钢结构连接用 8.8 级或 10.9 级大六角高强度螺栓或扭剪型高强度螺栓，其强度等级、规格、材质和性能要求应分别符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 和《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的规定。

4.2.4 铸钢结构连接用 C 级普通螺栓 4.6 级与 4.8 级及 A 级或 B 级普通螺栓 5.6 级与 8.8 级，其性能和质量应符合现行国家标准《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1 的规定。C 级螺栓与 A 级、B 级螺栓的规格和尺寸应分别符合现行国家标准《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780 和《六角头螺栓》GB/T 5782 的规定。

4.3 设计指标

4.3.1 非焊接结构铸钢的设计强度应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定。

4.3.2 焊接结构用铸钢的强度设计值应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 焊接结构用铸钢的强度设计值 (N/mm²)

牌号	厚度 或直径 (mm)	强度设计值			屈服 强度 f_y	抗拉强度 最小值 f_u
		抗拉、抗 压和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}		
ZG230-450H	≥ 16 且 ≤ 50	175	105	290	230	450
	> 50 且 ≤ 75	170	100			
	> 75 且 ≤ 100	155	90			
	> 100 且 ≤ 150	145	80			
ZG270-480H	≥ 16 且 ≤ 50	210	120	310	270	480
	> 50 且 ≤ 75	200	115			
	> 75 且 ≤ 100	185	105			
	> 100 且 ≤ 150	165	95			
ZG300-500H	≥ 16 且 ≤ 50	230	135	325	300	500
	> 50 且 ≤ 75	220	125			
	> 75 且 ≤ 100	205	120			
	> 100 且 ≤ 150	185	105			
ZG340-550H	≥ 16 且 ≤ 50	260	150	355	340	550
	> 50 且 ≤ 75	250	145			
	> 75 且 ≤ 100	230	135			
	> 100 且 ≤ 150	210	120			
G17Mn5QT	≥ 16 且 ≤ 50	185	105	290	240	450
	> 50 且 ≤ 75	175	100			
	> 75 且 ≤ 100	165	95			
	> 100 且 ≤ 150	150	85			
G20Mn5N G20Mn5QT	≥ 16 且 ≤ 50	230	135	310	300	480
	> 50 且 ≤ 75	220	125			
	> 75 且 ≤ 100	205	120			
	> 100 且 ≤ 150	185	105			

注：各牌号铸钢的强度设计值按本表取值时，应保证其材质的力学性能指标符合本规程附录 A 中的规定。

4.3.3 结构用铸钢管的强度设计值应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 铸钢管的强度设计值 (N/mm²)

牌号	壁厚 t (mm)	强度设计值			屈服 强度 f_y	抗拉强度 最小值 f_u
		抗拉、抗 压和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}		
LX235	$t \leq 50$	180	105	325	235	400
	$50 < t \leq 75$	165	95		225	
	$75 < t \leq 100$	155	90		215	
LX345	$t \leq 50$	250	145	400	325	470
	$50 < t \leq 75$	215	125		295	
	$75 < t \leq 100$	200	115		275	
LX390	$t \leq 50$	285	165	415	370	490
	$50 < t \leq 75$	265	150		355	
	$75 < t \leq 100$	245	140		330	
LX420	$t \leq 50$	305	175	440	400	520
	$50 < t \leq 75$	280	160		380	
	$75 < t \leq 100$	260	150		360	

注：各牌号铸钢管的强度设计值按本表取值时，应保证其材质的力学性能指标符合本规程附录 A 中的规定。

4.3.4 碳素结构钢与低合金高强度结构钢的强度设计值、焊缝与螺栓的强度设计值均应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。

4.3.5 铸钢的物理性能指标应符合表 4.3.5 的规定。

表 4.3.5 铸钢的物理性能指标

弹性模量 E (N/mm ²)	剪切模量 G (N/mm ²)	线膨胀系数 α (/°C)	质量密度 ρ (kg/m ³)
2.06×10^5	0.79×10^5	1.20×10^{-5}	7.85×10^3

5 设计和计算

5.1 设计原则

5.1.1 铸钢结构设计应符合现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 和《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 的规定；地震区的建（构）筑物，尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的规定。

5.1.2 铸钢结构设计应根据结构破坏类型和可能产生的后果，采用不同的安全等级。工业与民用建筑铸钢结构宜取二级。设计使用年限为 50 年时，重要性系数不应小于 1.00；设计使用年限为 25 年时，重要性系数不应小于 0.95；特殊的铸钢结构安全等级、设计使用年限应另行确定。

5.1.3 铸钢结构应按下列承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计：

1 承载能力极限状态包括：构件、节点和连接的强度破坏和因过度变形而不适于继续承载，结构和构件丧失稳定或节点局部稳定破坏，结构转变为机动体系和结构倾覆；

2 正常使用极限状态包括：影响结构、构件、节点和非结构构件正常使用或外观的变形，影响正常使用的振动，影响正常使用或耐久性能的局部损坏。

5.1.4 铸钢件设计应包括下列内容：

1 铸钢件的几何造型设计应符合结构受力特点和相应部位的传力特点、铸造工艺、连接构造、交通运输、施工安装、缺陷检测、涂装防护和建筑美观的要求；

2 铸钢件的工艺设计和受力分析应根据几何造型设计进行工艺过程数值模拟，确定合理壁厚和倒圆角半径等尺寸，并制定

工艺流程和检查项目；

3 铸钢件之间和铸钢件与其他结构的连接设计应考虑超厚焊缝对结构的不利影响，应采取相应的消除焊接应力的措施；设计时应考虑连接件之间的壁厚差和设置企口的要求；铸钢与普通钢材连接时宜做到力学性能相近。

5.1.5 铸钢件分段加工时，分段位置应选择受力较小的部位，并应考虑施工安装时的起重能力和运输要求。

5.2 构 件

5.2.1 轴心受拉、压构件，其强度和受压构件稳定性应按下列公式计算：

1 轴心受拉、压构件的截面强度

$$\sigma \leq f \quad (5.2.1-1)$$

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \quad (5.2.1-2)$$

2 轴心受压构件的稳定性

$$\frac{N}{\varphi A} \leq f \quad (5.2.1-3)$$

式中： σ ——正应力（N/mm²）；

N ——轴心拉力或压力设计值（N）；

A_n ——铸钢构件的净截面面积（mm²）；

A ——铸钢构件的毛截面面积（mm²）；

f ——铸钢抗拉强度设计值（N/mm²）；

φ ——轴心受压构件的稳定系数，应根据铸钢构件的长细比、材料屈服强度，按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 中 b 类受压构件确定。

5.2.2 双向受弯实腹式构件，其截面抗弯强度、抗剪强度和整体稳定性应按下列公式计算，各计算系数均应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用。

1 截面抗弯强度

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f \quad (5.2.2-1)$$

2 截面抗剪强度

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leq f_v \quad (5.2.2-2)$$

3 整体稳定性

$$\frac{M_x}{\varphi_b \gamma_x W_x} + \frac{M_y}{\gamma_y W_y} \leq f \quad (5.2.2-3)$$

式中： M_x 、 M_y ——同一截面处绕 x 轴和 y 轴的弯矩 ($N \cdot m$)，
对于具有强弱轴的构件： x 轴为强轴， y 轴为弱轴；

γ_x 、 γ_y ——截面塑性发展系数；

W_{nx} 、 W_{ny} ——对 x 轴和 y 轴的净截面模量 (mm^3)；

τ ——剪应力 (N/mm^2)；

V ——计算截面沿腹板平面作用的剪力 (N)；

S ——计算剪应力处以上毛截面对中和轴的面积矩 (mm^2)；

I ——毛截面惯性矩 (mm^4)；

t_w ——腹板厚度 (mm)；

f_v ——铸钢材料的抗剪强度设计值 (N/mm^2)；

φ_b ——绕强轴弯曲所确定的梁整体稳定系数；

W_x 、 W_y ——对 x 轴和 y 轴的毛截面模量 (mm^3)。

5.2.3 拉弯、压弯实腹式构件的截面强度和稳定性应按下列公式计算，各计算系数均应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用。

1 双向拉弯、压弯构件截面强度

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \pm \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f \quad (5.2.3-1)$$

2 单向压弯构件平面内整体稳定性

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{1x} \left(1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ex}}\right)} \leq f \quad (5.2.3-2)$$

$$N'_{Ex} = \pi^2 EA / (1.28\lambda_x^2) \quad (5.2.3-3)$$

式中： φ_x ——弯矩作用平面内的轴心受压构件稳定系数；
 β_{mx} ——弯矩作用平面内稳定计算的等效弯矩系数；
 W_{1x} ——在弯矩作用平面内对较大受压纤维的毛截面模量
 (mm^3) ；

N'_{Ex} ——参数；

E ——弹性模量 (N/mm^2) ；

λ_x ——整体构件对 x 轴的长细比。

3 单向压弯构件平面外整体稳定性

$$\frac{N}{\varphi_y A} + \eta \frac{M_x}{\varphi_b W_{1x}} \leq f \quad (5.2.3-4)$$

式中： φ_y ——弯矩作用平面外的轴心受压构件稳定系数；
 η ——截面影响系数。

4 双向压弯构件整体稳定性

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_x \left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}}\right)} + \eta \frac{\beta_{1x} M_x}{\varphi_{by} W_y} \leq f \quad (5.2.3-5)$$

$$\frac{N}{\varphi_y A} + \eta \frac{\beta_{1x} M_x}{\varphi_{bx} W_x} + \frac{\beta_{my} M_y}{\gamma_y W_y \left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ey}}\right)} \leq f \quad (5.2.3-6)$$

$$N'_{Ey} = \pi^2 EA / 1.28\lambda_y^2 \quad (5.2.3-7)$$

式中： β_{my} ——弯矩作用平面内稳定计算的等效弯矩系数；

β_{1x} 、 β_{1y} ——弯矩作用平面外稳定计算的等效弯矩系数；

φ_{bx} 、 φ_{by} ——均匀弯曲的受弯构件整体稳定性系数；

N'_{Ey} ——参数；

λ_y ——整体构件对 y 轴的长细比。

5.2.4 非规则截面构件，在设计荷载作用下，构件的局部应力应采用有限元方法计算，并应符合下列规定：

1 有限元分析中铸钢构件宜采用实体或壳单元模拟，构件单元网格应沿构件长度、截面均匀划分；非规则构件的截面突变、构件拼接、节点连接等易产生应力集中的部位，单元网格划

分应加密且单元的最大边长不应大于该处的最薄壁厚；

2 构件有限元模型的边界条件、荷载条件与初始几何缺陷条件等因素应与实际受力状态保持一致；

3 复杂应力状态下的强度准则可采用冯·米塞斯屈服准则；

4 弹塑性分析时材料本构关系可采用理想弹塑性模型或双折线强化模型模拟。

5.2.5 采用非线性分析获得的构件弹塑性极限承载力不宜小于其荷载设计值的 1.5 倍。

5.3 连接

5.3.1 铸钢结构可采用焊接连接、螺栓连接和销轴连接等连接形式（图 5.3.1）。

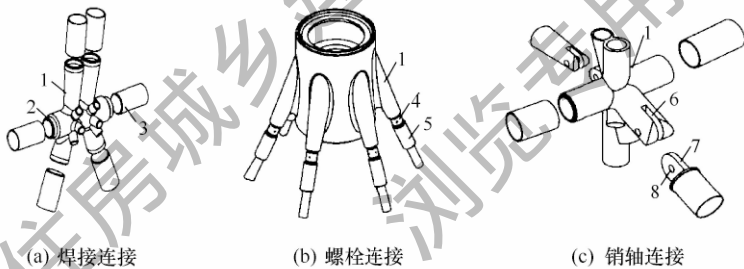


图 5.3.1 连接基本形式

1—铸钢件；2—焊接坡口；3—钢管；4—螺栓连接；
5—索（杆）；6—连接槽；7—连接穿心板；8—销孔

5.3.2 铸钢采用焊接连接时，可采用环形对接焊缝连接。当采用对接焊缝承受轴心拉力和轴心压力时，其强度应按下列公式计算：

$$\sigma = \frac{N}{l_w t_{\min}} \leq f_t^w \quad (5.3.2-1)$$

$$\sigma = \frac{N}{l_w t_{\min}} \leq f_c^w \quad (5.3.2-2)$$

式中： N ——轴心拉力或轴心压力（N）；

l_w ——焊缝长度 (mm);

t_{\min} ——对接接头中连接件的较小厚度 (mm), 通常采用钢构件的板厚;

f_t^w ——对接焊缝的抗拉强度设计值 (N/mm^2);

f_c^w ——对接焊缝的抗压强度设计值 (N/mm^2)。

5.3.3 当铸钢采用螺栓连接和销轴连接时, 可按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的要求进行计算。

5.4 节 点

5.4.1 铸钢节点承载力应按承载能力极限状态计算。承载能力极限状态应包括铸钢节点的强度破坏、局部稳定破坏和因过度变形而不适于继续承载。常用建筑用铸钢节点形式可按本规程附录 B 执行。

5.4.2 当铸钢材料伸长率和强屈比满足与铸钢强度等级对应的 Q235 和 Q345 钢材的性能指标时, 圆管汇交的铸钢相贯管节点的承载力, 可按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定验算。

5.4.3 当铸钢空心球节点的铸钢材料伸长率和强屈比满足与铸钢强度等级对应的 Q235 或 Q345 钢材的性能指标时, 与铸钢空心球相连的铸钢管轴力设计值不应大于铸钢空心球的承载力设计值。

5.4.4 铸钢空心球的受压、受拉承载力设计值可分别按下列公式计算:

$$N_c = 0.35\eta_c\pi\left(1 + \frac{d}{D}\right)(d+r)tf \quad (5.4.4-1)$$

$$N_t = \frac{\sqrt{3}}{3}\eta_t\pi(d+r)tf \quad (5.4.4-2)$$

式中: N_c ——受压铸钢空心球的受压承载力设计值 (N);

η_c ——受压铸钢空心球的加肋承载力提高系数, 无加肋时, η_c 取 1.0; 有加肋时, η_c 取 1.4;

d ——与铸钢空心球相连的受压钢管外径 (mm);
 D ——铸钢空心球的外径 (mm);
 r ——外侧倒圆角半径 (mm);
 t ——铸钢空心球的壁厚 (mm);
 f ——铸钢抗压、抗拉强度设计值 (N/mm^2);
 N_t ——受拉铸钢空心球的受拉承载力设计值 (N);
 η_t ——受拉铸钢空心球的加肋承载力提高系数, 无加肋时, η_t 取 1.0; 有加肋时, η_t 取 1.1。

5.4.5 除本规程 5.4.2 条、5.4.3 条和 5.4.4 条规定外的铸钢节点, 在荷载设计值作用下, 节点应力应采用有限元法按弹性计算, 并应符合下列规定:

$$\sigma_{zs} \leq \beta_1 f \quad (5.4.5-1)$$

$$\sigma_{zs} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (5.4.5-2)$$

式中: σ_{zs} ——折算应力 (N/mm^2);
 β_1 ——折算应力的强度设计值增大系数。当计算点各主应力全部为压应力时, $\beta_1 = 1.2$; 当计算点各主应力全部为拉应力时, $\beta_1 = 1.0$, 且最大主应力应满足 $\sigma_1 \leq 1.1f$; 其他情况时, $\beta_1 = 1.1$;

σ_1 、 σ_2 、 σ_3 ——计算点处第一、第二、第三主应力 (N/mm^2)。

5.4.6 除本规程第 5.4.2 条、第 5.4.3 条和第 5.4.4 条规定外的铸钢节点, 当破坏承载力不小于荷载设计值的 2 倍, 或弹塑性有限元分析所得的极限承载力不小于荷载设计值的 2 倍时, 铸钢节点的强度计算可不按本规程第 5.4.5 条执行。

5.5 节点有限元分析原则

5.5.1 铸钢节点的有限元分析宜采用实体单元。在铸钢节点与构件连接处、铸钢节点内外表面拐角处等易于产生应力集中的部

位，实体单元的最大边长不应大于该处最薄壁厚，其余部位的单元尺寸可适当增大，但单元尺寸变化宜平缓。

5.5.2 铸钢节点的有限元分析中，径厚比不小于 10 的部位可采用板壳单元。

5.5.3 铸钢节点的有限元分析中，应根据节点约束形式确定与实际情况相似的边界条件。

5.5.4 铸钢节点的有限元分析中，作用在节点上的外荷载和约束力的平衡条件应与设计内力一致。

5.5.5 铸钢节点承受多种荷载工况组合的设计控制工况时，应分别按每种荷载工况组合进行计算。

5.5.6 弹塑性有限元分析时，铸钢节点材料的应力-应变曲线宜采用具有一定强化刚度的二折线模型。复杂应力状态下的强度准则宜采用冯·米塞斯屈服准则。

5.5.7 铸钢节点的极限承载力可根据弹塑性有限元分析得出的荷载-位移全过程曲线确定。

5.5.8 铸钢节点的有限元分析宜进行不同单元类型、不同单元尺寸的分析模型的对比计算，以保证计算精度。

5.6 试 验

5.6.1 属于下列情况之一时，铸钢件应进行承载力试验：

- 1 设计或建设方认为对结构安全至关重要的铸钢件；
- 2 抗震设防时，对结构安全有重要影响的铸钢件；
- 3 节点受力性能复杂或连接方式复杂的铸钢件。

5.6.2 检验性试验或破坏性试验可根据需求确定。检验性试验中，同一类型的试件不宜少于 2 件。

5.6.3 用作试件的铸钢件应采用与实际铸钢件相同的加工制作参数，并应在试验前按实际铸钢件的检验要求进行检验。

5.6.4 试验宜采用足尺试件。当试验设备无法满足时，可采用缩尺试件，缩尺比例不宜小于 1/2。

5.6.5 试验加载装置应确保试件具有与实际情况相似的约束条

件和荷载作用。加载装置宜使加载值便于验证，且试验时不应发生非试验部位的损坏。

5.6.6 铸钢试件应具有一定的外伸尺寸，消除支座、加载等装置的约束对试验部位应力分布的影响。

5.6.7 铸钢试件的应力分布和裂纹发展可采用电阻应变片测试法、光纤光栅法、脆漆法或干涉仪云纹法测试。测点布置时应重点监控数值较大及应力集中部位。

5.6.8 试验应辅以有限元分析和对比。

5.6.9 检验性试验中，试验荷载不应小于荷载设计值的 1.3 倍；破坏性试验中，由试验确定的破坏承载力不应小于铸钢件承载力设计值的 2.0 倍。

6 构造规定

6.1 一般规定

6.1.1 铸钢件及焊接材料应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定，并应保证良好的可焊性。

6.1.2 铸钢件与普通钢管连接可采用环形对接焊接方法，在焊接处宜做焊接槽口，铸钢管壁厚应平滑过渡到与普通钢管相当的壁厚。

6.2 连接

6.2.1 焊接连接时焊缝金属应与主体金属相适应，当不同强度的钢材连接时，可采用与低强度钢材相适应的焊接材料。铸钢件的焊接可采用以下连接形式：当铸钢件的壁厚较大时应采用带钝边的单 V 形坡口（图 6.2.1a）和单 U 形坡口（图 6.2.1b）形式；当铸钢件壁厚与对接钢管或钢板厚度相差不大时，可采用无坡口（图 6.2.1c）形式；当对接钢管或钢板厚度较小且铸件壁厚也薄时，可采用无钝边的单 V 形坡口（图 6.2.1d）形式。坡口形式应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661、《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 985.1 和《埋弧焊的推荐坡口》GB/T 985.2 的规定。

6.2.2 对接焊缝位置、焊接坡口应符合设计要求，焊接坡口形式应按本规程第 6.2.1 条执行。

6.2.3 销轴连接节点的销轴孔及螺栓连接节点的螺栓孔宜采用机械加工方法，设计应考虑加工余量。螺栓连接节点宜采用 T 形螺纹。

6.2.4 孔径小于 100mm 的非销轴和螺栓开孔，孔不经过机械加工处理且孔内穿构件时，开孔宜增加 5mm；孔径不小于 100mm

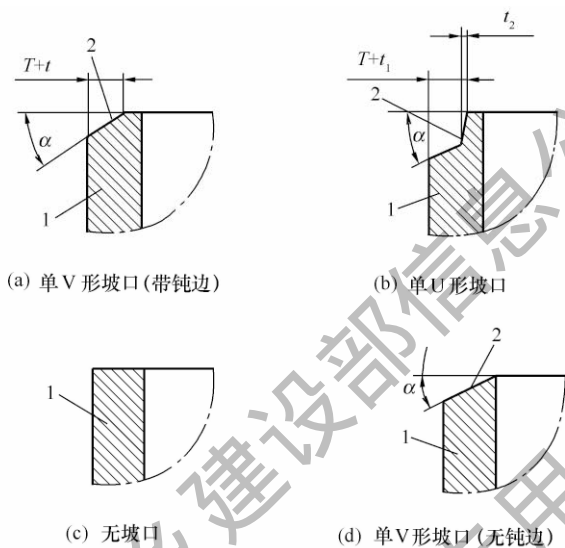


图 6.2.1 铸钢件的焊接连接形式

1—铸钢件；2—焊接坡口；

T —对接钢管或钢板厚度； t 、 t_1 、 t_2 —间隙尺寸； α —焊接坡口角度

的非销轴和螺栓开孔，孔不经过机械加工处理且孔内穿构件时，开孔宜增加 5mm~10mm。

6.2.5 设计节点时应预留焊接空间、螺栓安装空间、销轴安装空间和张拉设备操作空间等施工操作空间。

6.3 构件和节点

6.3.1 铸钢件设计应避免壁厚急剧变化，壁厚变化斜率不宜大于 1/5，且壁厚不宜大于 150mm。

6.3.2 铸钢件内部薄壁部位肋板和加劲板的壁厚宜小于外部薄壁部位的壁厚。

6.3.3 铸钢件设计尺寸应符合下列规定：

- 1 铸钢件最小壁厚要求应符合表 6.3.3-1 的规定；

表 6.3.3-1 铸钢件的最小壁厚 (mm)

铸钢件最大轮廓尺寸	<200	≥200 且 <400	≥400 且 <800	≥800 且 <1250	≥1250 且 <2000	≥2000 且 <3200
壁厚	9	10	12	16	20	25

2 铸钢件的合理壁厚宜符合表 6.3.3-2 的规定;

表 6.3.3-2 铸钢件的合理壁厚 (mm)

铸钢件最大轮廓尺寸	铸钢件次大轮廓尺寸			
	≤350	351~700	701~1500	1501~3500
≤1500	15~20	20~25	25~30	—
1501~3500	20~25	25~30	30~35	35~40
3501~5500	25~30	30~35	35~40	40~45
5501~7000	—	35~40	40~45	45~50

3 铸钢件内壁厚度宜比外壁厚度小 20%~30%;

4 铸壁连接方式应优先选用 L 形接头, 以减少或分散热节点, 避免交叉连接;

5 可在铸钢件中间设置加劲肋来增大铸钢件的强度和刚度, 应避免采用增加壁厚的方式。

6.3.4 最小壁厚、内外圆角半径 (图 6.3.4) 应根据铸钢件轮

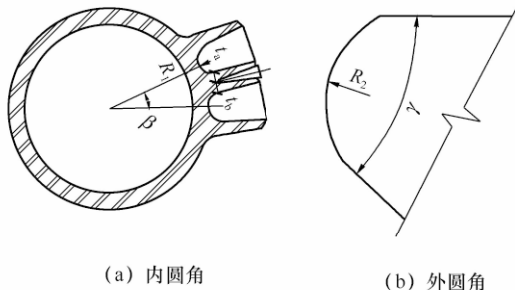


图 6.3.4 圆角示意图

β —铸钢件内夹角; R_1 —内圆角半径; t_a 、 t_b —相邻两杆的壁厚; R_2 —外圆角半径; γ —外圆角度

廓尺寸、夹角和铸造工艺确定，可按表 6.3.4-1 和表 6.3.4-2 确定。

表 6.3.4-1 铸钢件内圆角半径 (mm)

$\frac{t_a + t_b}{2}$	内圆角半径 R_1					
	内夹角 β					
	$<50^\circ$	$51^\circ\sim 75^\circ$	$76^\circ\sim 105^\circ$	$106^\circ\sim 135^\circ$	$136^\circ\sim 165^\circ$	$>165^\circ$
9~12	10	10	10	12	16	25
13~16	10	10	12	14	20	30
17~20	10	12	14	16	25	40
21~27	10	16	16	20	30	50
28~35	10	12	16	25	40	60
36~45	10	16	20	30	50	80
46~60	12	20	25	35	60	100
61~80	16	25	30	40	80	120
81~110	20	25	35	50	100	150
111~150	20	30	40	60	100	150

注： t_a 、 t_b 分别表示相邻两杆的壁厚。

表 6.3.4-2 铸钢件外圆角半径 (mm)

t_c	外圆角半径 R_2					
	外圆角 γ					
	$<50^\circ$	$51^\circ\sim 75^\circ$	$76^\circ\sim 105^\circ$	$106^\circ\sim 135^\circ$	$136^\circ\sim 165^\circ$	$>165^\circ$
≤ 25	2	2	2	4	6	8
26~60	2	4	4	6	10	16
61~150	4	4	6	8	16	25

注： t_c 表示壁厚。

6.3.5 铸钢件的重量超过 20t 时，可分段铸造后拼接，拼接部位应有可靠连接。

6.3.6 铸钢件焊接面与地面或柱顶的距离有条件时宜为 800mm~1000mm，不应小于 200mm。

7 铸钢件加工

7.1 一般规定

- 7.1.1 铸钢件在铸造前，应进行图纸的深化和确认工作。
- 7.1.2 铸钢件的钢液熔炼宜采用碱性电弧炉，并宜使用氧化还原法使化学成分达到规定的要求。当采用感应炉设备时，应控制原材料和熔炼工艺，确保化学成分达到规定要求。
- 7.1.3 铸钢件的铸造应保证内部组织致密、均匀和形状尺寸符合设计要求，并应控制浇注温度和速度。
- 7.1.4 铸钢件加工尺寸和表面精度应符合设计要求。不满足表面精度要求时，宜采用打磨或机械加工的方法。当采用机械加工时，铸钢件的硬度宜为 170HBS~230HBS。
- 7.1.5 铸钢件的热处理方式宜为正火或调质。
- 7.1.6 铸钢件缺陷的焊接修补不应影响其力学性能。受弯构件的抗拉侧和受拉构件不应采用焊接修补。其他铸钢件重大焊补前应经设计单位同意，制定焊接修补方案，并应进行焊接修补工艺评定。

7.2 铸造和热处理

- 7.2.1 铸钢件浇注前应对钢液化学成分进行炉前快速分析，合格后方可浇注。
- 7.2.2 铸钢件的重要加工面、主要工作面和宽大平面应处于铸型的底部；壁薄而大的平面应处于铸型的底部或垂直或倾斜布置；应减少分型面数量，使型腔及主要型芯位于下型。
- 7.2.3 合型前应检查型腔和砂芯芯头的几何形状及尺寸，损坏的应修补更换，修补的砂芯应重新检查和烘干。应清除型腔、浇注系统和砂芯表面的浮砂与脏物，检查出气孔和砂芯排气通道，

保证其畅通。

7.2.4 铸钢件浇注温度应根据铸钢件形状、熔炼容量、钢包及烘烤等确定。形状简单的铸钢件宜取较低的浇注温度，形状复杂或壁厚较薄的铸钢件宜取较高的浇注温度。薄壁铸钢件宜采用快速浇注法；厚壁铸钢件宜采用慢—快—慢浇注法，并应保持一定的充型压力。

7.2.5 铸钢件的浇冒口去除宜采用锯割、氧气切割或电弧切割方法。

7.2.6 铸钢件表面清理宜采用喷砂、喷丸或抛丸方法。

7.2.7 铸钢件热处理时应检测炉温均匀性，并应符合现行国家标准《热处理炉有效加热区测定方法》GB/T 9452 的规定，热处理工艺应考虑铸钢件的结构尺寸、化学成分和质量要求。

7.2.8 低合金铸钢件调质处理前宜进行正火或正火加回火预处理。碳质量分数在 0.2% 以下的低碳低合金铸钢件，可采用正火预处理，形状及尺寸不宜淬火时，宜采用正火加回火取代调质处理。

7.2.9 铸钢件力学性能检验不合格时，应重新热处理，热处理次数不宜超过 2 次。

7.2.10 铸钢件毛坯尺寸的允许偏差应符合设计要求或现行国家标准《铸件 尺寸公差与机械加工余量》GB/T 6414 的规定。相邻两轴线夹角的允许偏差应为 $\pm 30'$ 。

7.3 缺陷修补

7.3.1 铸钢件可用机械、局部加热和整体加热矫正，矫正后铸钢件的表面不应有明显的凹面或损伤。

7.3.2 铸钢件不应有飞边、毛刺、氧化皮、粘砂、热处理锈斑和表面裂纹等缺陷，表面缺陷宜用喷砂（丸）、打磨处理方法，但打磨深度不应大于允许的负偏差。

7.3.3 当铸钢件的缺陷较深时，宜先用风铲、砂轮等机械或火焰切割、碳弧气刨等方法消除缺陷后进行焊补。当采用碳弧气刨

时，应对焊接修补部位进行打磨，清除渗碳层与熔渣等杂物。

7.3.4 铸钢件有气孔、缩孔、裂纹等内部缺陷时，对于缺陷深度在铸件壁厚的 20% 以内且小于 25mm 或需修补的单个缺陷面积小于 65cm² 时，可进行焊接修补；当缺陷大于或等于以上尺寸时的重大焊补，应按本规程 7.1.6 条执行。

7.3.5 铸钢件的焊补应在最终热处理前进行，焊补后质量应符合设计及使用要求。焊补用焊条、焊丝应符合焊补工艺的规定。铸钢件同一部位的焊补次数不应多于 2 次。

7.3.6 铸钢件在焊补前，应根据其钢种、结构、形状及焊接性等进行焊接工艺评定，确定焊接预热温度。焊接修补预热温度应高于正式施焊预热温度。

7.3.7 铸钢件缺陷焊补应符合下列规定：

1 缺陷处的粘砂、氧化皮和铁锈等杂物应清理干净，直至露出金属光泽，并应加工成坡口；

2 采用火焰切割或碳弧气刨等方法清除缩松、裂纹等缺陷时，对于形状复杂、壁厚较大的铸钢件，应将铸钢件整体或局部加热至焊接预热温度后，方可焊补；

3 焊补裂纹缺陷时，碳弧气刨前应在裂纹两端钻止裂孔，再去除裂缝开坡口；

4 坡口形状应根据铸钢件缺陷的形状、尺寸等确定。

7.3.8 焊件表面堆焊的焊道相互搭接时，每道焊道的搭接宽度不应小于 1/3 的焊道宽度。

7.3.9 焊补时应减少焊接应力，可采用锤击法，不得锤击第一层和最后一层焊缝。

7.3.10 对于不预热的铸钢件或采用多层焊的铸钢件，可采取分区焊补或跳焊的措施。

7.3.11 对加工后的缺陷进行焊补时，应在加工表面覆盖石棉或岩棉进行焊后保温。

7.3.12 当大小缺陷同时存在时，可交替焊补，或由大到小依次焊补。

7.3.13 返修部位应连续施焊防止产生裂纹，当中断焊接时，可采取保温措施。对一级焊缝和二级焊缝，再次焊接前，宜先进行磁粉或其他无损探伤，确认无裂纹后方可进行焊补。

7.3.14 铸钢件焊补后，焊接修补部位应进行机械加工或打磨，表面质量应符合设计要求。焊接修补应及时记录并存档。

7.3.15 铸钢件焊补后，焊补部位应 100% 外观检查，并应按现行国家标准《铸钢件 超声检测 第 1 部分：一般用途铸钢件》GB/T 7233.1 和《铸钢件磁粉检测》GB/T 9444 进行 100% 无损检测。

7.4 打磨、气割和机械加工

7.4.1 铸钢件采用打磨或气割加工的允许偏差应符合表 7.4.1 的规定。

表 7.4.1 气割、气割加工的允许偏差

项 目	允许偏差
零件宽度、长度	±3.0mm
切割面平面度	0.05 t ，且不应大于 2.0mm
割纹深度	0.3mm
局部缺口深度	1.0mm
端面垂直度	2.0mm
坡口角度	0°~5°
钝边	±1.0mm

注： t 为切割面厚度。

7.4.2 铸钢件配合面机械加工时，宜采用车削、铣削、刨削和钻削等，加工表面粗糙度 R_a 不应大于 $25\mu\text{m}$ 。

7.4.3 孔加工宜采用钻削、镗削加工。孔的允许偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定或设计要求，C 级螺栓孔孔壁表面粗糙度 R_a 不应大于 $25\mu\text{m}$ 。

7.4.4 端口圆和孔机械加工的允许偏差应符合表 7.4.4 的规定。

表 7.4.4 端口圆和孔机械加工的允许偏差

项 目	允许偏差
端口圆直径	-2.0~0mm
孔直径	0~2.0mm
圆度	$d/200$ ，且不大于 2.0mm
端面垂直度	$d/200$ ，且不大于 2.0mm
管口曲线	2.0mm
同轴度	1.0mm
相邻两轴线夹角	30'

注： d 为铸钢件端口圆直径或孔径。

7.4.5 平面、端面、边缘机械加工的允许偏差应符合表 7.4.5 的规定。

表 7.4.5 平面、端面、边缘机械加工的允许偏差

项 目	允许偏差
宽度、长度	$\pm 1.0\text{mm}$
平面平行度	0.5mm
加工面对轴线的垂直度	$L/1500$ ，且不应大于 2.0mm
平面度	$0.3/\text{m}^2$
加工边直线度	$L/3000$ ，且不应大于 2.0mm
相邻两边夹角	30'

注： L 为平面的边长。

7.5 铸钢件检验

7.5.1 铸钢件检验应在铸钢件生产过程中和铸钢结构拼装前完成。

7.5.2 铸钢件生产过程检验的内容应符合下列规定：

1 铸钢件表面粗糙度比较样块和评审应分别按现行国家标准《表面粗糙度比较样块铸造表面》GB/T 6060.1 和《铸造表

面粗糙度评定方法》GB/T 15056 执行；

2 铸钢件表面粗糙度 R_a 宜为 $25\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ ，与其他构件连接的焊接端口表面粗糙度 R_a 不应大于 $25\mu\text{m}$ ，有超声波探伤要求的表面粗糙度应符合探伤工艺要求；

3 铸钢件表面应清理干净，修正飞边、毛刺，去除补贴、粘砂、氧化铁皮、热处理锈斑及可去除的内腔残余物等，不应有裂纹、未熔合和超过允许标准的气孔、冷隔、缩松、缩孔、夹砂及明显凹坑等缺陷；

4 铸钢件的几何形状和尺寸应符合设计要求或订货时图样、模样和合同要求。其中铸钢件圆管构件连接部位管口外径尺寸的允许偏差应符合表 7.5.2 的规定，同时应符合构件钢管的允许负偏差和允许对口错边量的要求；铸钢件与构件连接部位的接管角度允许偏差及耳板角度允许偏差应为 $\pm 25'$ 。

表 7.5.2 外圆面和孔机械加工的允许偏差

项 目	允许偏差值
外圆面直径	$-d/200$ ，且不大于 -2.0mm
孔直径	$d/200$ ，且不大于 2.0mm
圆度	$d/200$ ，且不大于 2.0mm
端面垂直度	$d/200$ ，且不大于 2.0mm
管口曲线	2.0mm
同轴度	1.0mm
相邻两轴线夹角	$\pm 25'$

注： d 为外圆直径或孔径。

7.5.3 铸钢件目视检验应包括下列内容：

- 1 铸钢件应逐件进行目视检验；
- 2 铸钢件应进行表面质量检验；
- 3 铸钢件应进行内腔检验，不得有可剥落的残留物；
- 4 铸钢件应进行芯撑检验，距管口 200mm 内的未熔合芯撑应清除，管相贯圆角处不得使用芯撑。

7.5.4 铸钢件尺寸检验应包括下列内容：

1 铸钢件尺寸应符合图样或合同要求；
2 铸钢件尺寸允许偏差应按现行国家标准《铸件尺寸公差与机械加工余量》GB/T 6414 执行；有特殊要求时，应在合同或技术要求中规定；

3 尺寸检验应逐件进行，同一外形批量生产的，可按尺寸检验批抽检，尺寸检验批量划分应执行本规程规定；

4 铸钢件尺寸检验应选择相应精度的量具、样板等。

7.5.5 铸钢件无损检测应包括下列内容：

1 铸钢件的无损检测应在最终热处理后进行；

2 铸钢件表面粗糙度应满足检测的质量等级要求；

3 铸钢件应逐件并 100% 面积进行无损检测，表面质量检测应采用磁粉或渗透检测，内部质量检测应采用超声波检测或射线检测；

4 超声检测应按现行国家标准《铸钢件 超声检测 第 1 部分：一般用途铸钢件》GB/T 7233.1 执行；

5 渗透检测应按现行国家标准《铸钢件渗透检测》GB/T 9443 执行；

6 磁粉检测应按现行国家标准《铸钢件磁粉检测》GB/T 9444 执行；

7 射线检测应按现行国家标准《铸钢件射线照相检测》GB/T 5677 执行；

8 支管管口的焊接坡口周围 150mm 区域及耳板上销轴孔周围半径 150mm 内，合格级别应为 2 级，其余部位应为 3 级，有特殊要求时，应在合同或技术要求中规定；

9 存在下列情况时，铸钢件应报废：

1) 铸钢件裂纹深度超过铸件壁厚的 70%；

2) 铸钢件经二次返修仍不合格的；

10 焊补部位检验标准应与铸件检验相同。

7.5.6 铸钢件化学成分分析应包括下列内容：

1 铸钢件应按熔炼炉进行化学成分分析；
2 化学分析取样方法和化学成分允许偏差应按现行国家标准《钢和铁化学成分测定用试样的取样和制样方法》GB/T 20066 和《钢的成品化学成分允许偏差》GB/T 222 执行；

3 化学分析方法应按现行国家标准《钢铁及合金化学分析方法》GB/T 223 系列标准或《碳素钢和中低合金钢多元素含量的测定火花放电原子发射光谱法》GB/T 4336 执行；

4 化学分析结果应符合本规程附录 A 的规定。

7.5.7 铸钢件力学性能试验应包括下列内容：

1 每台热处理炉应为一个检验批，检验试块应按现行国家标准《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352 制备，并应与铸件同炉热处理，每检验批应取 2 个拉伸试样和 3 个冲击试样；

2 力学性能试验应按现行国家标准《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》GB/T 228.1 和《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》GB/T 229 执行；

3 冲击吸收功为 3 个夏比冲击试样试验结果的平均值，3 个试样中可有 1 个试样的试验结果低于规定值，但不应低于规定值的 2/3；

4 试验结果不符合规定时，该试验无效，应从同批试块中另取双倍试样进行检验；

5 力学性能检验结果应符合本规程附录 A 的规定；

6 不合格再检验包括下列内容：

1) 拉伸试验再检验，应从同批试块中另取 2 个试样，每个试样的试验结果均应符合本规程附录 A 的规定，则该批铸件的拉伸性能合格；再检验中仍有 1 个试样的试验结果不合格时，供方可按本规程 7.5.8 条处理；

2) 冲击试验再检验，应从同批试块中另取 3 个试样，试验结果应符合本规程附录 A 的规定，且包括初次检验在内共 6 个试样试验结果的平均值应符合技术要求和合同的规定，则该批铸件的冲击吸收功合格；再检验

结果仍不合格时，供方可按本规程 7.5.8 处理。

7.5.8 当力学性能再检验不合格时，可对该批铸件和试块重新热处理。

7.5.9 出厂前，应由第三方随机对铸钢件内在质量进行不少于 10% 的无损检测，出具抽检报告。

7.6 铸钢件验收

7.6.1 铸钢件出厂前，应对构配件的内在质量、表面质量和尺寸精度进行验收，形成验收记录，出具出厂合格证、质量保证书和检验报告。

7.6.2 铸钢件安装前应对铸钢材料进行复验。

7.6.3 验收的批量划分应符合下列规定：

1 按熔炼炉次划分：由同牌号、同熔炼炉次、同炉热处理的铸钢件为一批；

2 按热处理炉次划分：由同牌号、同熔炼炉次、同炉热处理的铸钢件为一批；

3 按数量或重量划分：由同牌号、不同熔炼炉次、同工艺多炉热处理的铸钢件，按设计确定的铸件数量或重量作为一批。

7.6.4 铸钢件检验项目、取样数量、取样部位、试验方法和评定方法应按本规程第 7.5 节执行。

8 结构安装

8.1 一般规定

8.1.1 铸钢结构施工前，应编制专项施工方案，并应经施工单位技术负责人审批和监理工程师批准。

8.1.2 铸钢件安装前，应在铸钢件上标明重心、吊点位置等。吊装与组装宜设置吊装耳板和临时连接板。在去除吊装耳板或临时连接板时，应采用气割或碳弧气刨等方式，在距母材 3mm～5mm 处切除，再用砂轮机打磨平整，严禁用锤击方式去除。

8.1.3 铸钢件进场时，应查验产品合格证。吊装前应清除表面杂物，并应做好安装基准标记。

8.1.4 安装现场应设置专门的堆场，并应采取防止铸钢件变形及表面污染的保护措施。

8.1.5 铸钢结构的安装方法应根据结构特点，在确保质量、安全的前提下，结合进度、经济及施工现场技术条件综合确定。

8.1.6 安装方法确定后，应分别对铸钢结构、吊点位置、吊装机械、临时支架和临时支架的拆除等进行计算分析；有条件时应应对结构进行施工全过程仿真模拟分析。

8.1.7 铸钢结构安装前，应对预埋件和预埋锚栓进行验收，其允许偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

8.1.8 铸钢结构组装的尺寸偏差应符合设计文件和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

8.1.9 铸钢结构安装测量时应考虑温度、日照和焊接变形等因素对结构变形的影响。测量验收宜在相同天气条件和时间段进行。

8.1.10 铸钢结构安装所使用的测量器具应经计量检验部门检定

合格，并应在有效期内。

8.1.11 铸钢结构在 6 级及 6 级以上的风力下不得进行吊装。

8.1.12 对复杂铸钢结构或设计有要求的宜在工厂进行预拼装，预拼装可采用实体预拼装或计算机辅助模拟预拼装，并应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的规定。

8.1.13 从事铸钢焊接作业人员的有关规定应按照现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 执行。

8.1.14 对首次采用的铸钢材料、焊接材料、焊接方法、接头形式、焊接位置、焊后热处理制度以及焊接工艺参数、预热和后热措施等各种参数的组合条件，应在施工之前进行焊接工艺评定，并应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。

8.1.15 铸钢结构焊接宜采用低热输入的焊接方法，可采用焊条电弧焊、气体保护电弧焊、药芯焊丝自动保护焊和等离子弧焊等。

8.2 吊 装

8.2.1 铸钢结构的安装可采用高空散装法、构件节点吊装法、分条分块吊装法、滑移法、分块或整体提升法、分块或整体顶升法和整体吊装法等方法。

8.2.2 起重吊装设备应根据最大起吊重量、起重机性能、现场环境和作业效率等因素综合确定，并应在额定起重范围内进行吊装。当起重设备附着或支承在结构上时，应取得设计单位同意，并应对结构进行验算。

8.2.3 铸钢结构安装单元划分应根据结构特点、单元形式、运输条件、起重设备性能和安装场地等因素综合确定。

8.2.4 铸钢结构吊装前，应确定吊点位置，并应对吊装构件和吊装耳板、钢丝绳、吊装带、卸扣、吊钩等进行验算。

8.2.5 吊装用钢丝绳、吊装带、卸扣和吊钩等吊具应经检查合格，并应在其额定许用荷载内使用。

8.2.6 铸钢件宜采用焊接吊装耳板进行吊装。当采用钢丝绳或

吊装带等直接捆绑吊装时，绑扎应保证牢固可靠，并应配有相应的防滑脱措施。

8.2.7 在铸钢件吊装前，宜在其对接口处设置临时连接板和限位板。

8.2.8 铸钢件下部支撑架应牢固可靠，并确保铸钢件吊装就位后受力平稳、定位准确。

8.2.9 铸钢件起吊后的空中姿态宜与实际安装位置相符。

8.2.10 铸钢件吊装到位后，应采用临时连接板连接固定，确认安全后方可松开吊钩。就位后的铸钢件，经测量合格后，应及时与相连构件连接，并应在形成稳定的空间结构单元后方可进行下道工序施工。

8.3 组 装

8.3.1 铸钢结构组装前，组装人员应熟悉设计图、设计深化图、加工详图、安装详图和技术文件，检查铸钢件和相连构件的规格、尺寸、数量、外观等应符合设计要求。

8.3.2 组装焊接处的连接接触面及沿接触面 30mm~50mm 内的铁锈、毛刺、污垢等，应在组装前清理干净。

8.3.3 铸钢结构组装方式应根据结构特点、设计要求和现场吊装能力等因素确定。

8.3.4 铸钢结构宜在组装平台或组装胎架上组装，组装平台或组装胎架应满足强度和刚度要求，保证稳定性。组装前，应画出构件中心线、端面位置线、轮廓线和标高线等基准线。

8.3.5 铸钢结构地面组装可采用地样法和胎模装配法等，组装时可采用立装或卧装；铸钢结构在高空组装时可采用支承架装配法，并可结合全站仪对各端口进行测量定位。

8.3.6 高空组装宜设置支承架、千斤顶和倒链等装置，准确调整标高和轴线位置，铸钢件各端口定位基准和测量可采用下列方法：

1 在铸钢件各端口外表面上引测端口中心十字线，应采用

全站仪定位测量；

2 在各铸钢件端口设置十字工艺板，并在工艺板上划出端口中心点，应采用全站仪定位测量。

8.3.7 有起拱要求的铸钢结构组装时，起拱应符合设计要求。

8.3.8 铸钢结构组装时应预留焊接收缩量，焊接收缩量宜通过工艺试验确定。

8.3.9 铸钢结构组装允许偏差应符合表 8.3.9 的规定。

表 8.3.9 铸钢结构组装允许偏差 (mm)

项目	允许偏差
节点中心偏移	3.0
焊缝间隙	3.0
对口错边	$t/10$ ，且不大于 3.0
坡口角度	$0^{\circ} \sim 5^{\circ}$
端面垂直度	$d/500$ ，且不大于 3.0

注： t 为板厚； d 为直径或长边尺寸。

8.4 焊 接

8.4.1 焊条、焊剂使用前应按产品说明书的要求进行烘干，焊接材料的使用应符合下列规定：

1 焊条、焊丝和焊剂等应储存在干燥、通风良好的地方，并应由专人保管；

2 低氢型焊条烘干温度应为 $350^{\circ}\text{C} \sim 380^{\circ}\text{C}$ ，保温时间应为 1.5h~2h，烘干后应缓冷放置于 $110^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ 的保温箱；使用时应置于保温筒中；烘干后的低氢型焊条在大气中放置时间超过 4h 应重新烘干；重复烘干次数不宜超过 2 次；受潮焊条严禁使用；

3 焊丝及导丝管应无油污、锈蚀，镀铜层应完好无损；

4 焊条、焊剂烘干装置及保温装置的加热、测温、控温性能应符合使用要求； CO_2 气体保护电弧焊使用的 CO_2 气瓶必须装

有预热干燥器；CO₂气体纯度不应小于 99.99%。

8.4.2 待焊铸钢件表面质量和组装质量应符合下列规定：

1 待焊接的表面和两侧应均匀、光洁，且应无毛刺、裂纹和其他对焊缝质量有影响的缺陷。待焊接的表面及距其边缘位置 30mm~50mm 内不得有影响正常焊接和焊缝质量的氧化皮、锈蚀、油脂和水等杂质。

2 焊缝坡口加工可采用机械加工、热切割、碳弧气刨、铲凿或打磨等方法。当采用热切割时，切割面质量应符合现行行业标准《热切割 气割质量和尺寸偏差》JB/T 10045.3 的规定：缺棱为 1mm~3mm 时，应修磨平整；超过 3mm 时，应用直径不超过 3.2mm 的低氢型焊条补焊，并应修磨平整。当采用机械加工方法时，加工表面不应有台阶。

3 施焊前，应检查焊接部位的组装和表面清理的质量，不符合要求时，应修磨补焊合格后方可施焊。

4 坡口组装间隙超过较薄板厚度的 2 倍或大于 20mm 时，不应采用堆焊方法增加构件长度或减小组装间隙。

5 严禁在接头坡口间隙处填塞焊条头、钢筋和铁块等杂物。

6 待焊表面切割缺陷进行焊接修补时，应制定修补焊接工艺，并应记录存档。

8.4.3 铸钢结构焊接不应产生冷裂纹。焊接用铸钢当其屈服强度小于 300N/mm²，且环境温度大于 0℃时，其最低预热温度应符合表 8.4.3 的规定。当施焊处温度低于 0℃时，应根据焊接作业环境、板厚等具体情况将表中预热温度提高，且应在焊接过程中保持最低层间温度。

表 8.4.3 焊接用铸钢屈服强度小于 300N/mm² 时的最低预热温度

接头部位最厚板厚 t (mm)	预热温度 (℃)
$t \leq 20$	—
$20 < t \leq 40$	20
$40 < t \leq 60$	60

续表 8.4.3

接头部位最厚板厚 t (mm)	预热温度 (°C)
$60 < t \leq 80$	80
$t > 80$	100

- 注：1 当采用非低氢型焊接材料或焊接方法焊接时，预热温度应比表中规定的温度提高 20°C；
- 2 焊接接头板厚或壁厚不同时，应按接头中较厚板或较厚壁选择最低预热温度；
- 3 焊接接头材质不同时，应按接头中较高强度、较高碳当量的钢材选择最低预热温度；
- 4 “—”表示焊接环境温度在 0°C 以上时，可不采取预热措施。

8.4.4 铸钢结构定位焊接应符合下列规定：

1 定位焊的施焊必须由持证上岗的焊工完成，焊接材料的力学性能应达到正式焊缝的要求；

2 定位焊焊缝与正式焊缝应具有相同的焊接工艺和焊接质量要求；

3 定位焊焊缝厚度不应小于 3mm，且不宜超过设计焊缝厚度的 2/3，定位焊焊缝长度不应小于 40mm，间距宜为 300mm~600mm，并应填满弧坑；

4 定位焊焊接时，预热温度宜高于正式施焊预热温度 20°C~50°C。定位焊焊缝存在裂纹、气孔和夹渣等缺陷时，应完全清除。

8.4.5 焊接前应根据焊接工艺评定制定焊接工艺操作规程，正式焊接时应严格执行焊接工艺操作规程。

8.4.6 焊缝表面或内部缺陷处理，应按现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 执行。

8.4.7 铸钢结构焊接环境应符合下列规定：

1 焊条电弧焊和自保护药芯焊丝电弧焊，其焊接作业区最大风速不宜超过 8m/s，气体保护电弧焊不宜超过 2m/s，当超过上述范围时，应采取有效保护措施；

2 当焊接作业区处于下列情况之一时严禁焊接：

- 1) 焊接作业区的相对湿度大于 90%；
- 2) 焊件表面潮湿或暴露于雨、冰、雪中；
- 3) 焊接作业条件不符合现行国家标准《焊接与切割安全》GB 9448 的有关规定。

3 焊接环境温度低于 0℃ 但不低于 -10℃ 时，应采取加热或防护措施，应确保接头焊接处各方向不小于 2 倍板厚且不小于 100mm 内的母材温度不低于 20℃ 和最低预热温度中二者的较高值，且在焊接过程中不应低于这一温度；

4 焊接环境温度低于 -10℃ 时，必须进行相应环境下的焊接工艺评定试验，并应在评定合格后再进行焊接，当不符合上述规定时，严禁焊接。

8.4.8 铸钢件与相连构件的厚度不同时，应作平缓过渡，其坡度最大不应超过 1:2.5，并应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。

8.4.9 铸钢件多层焊接应符合下列规定：

1 多层焊接时应连续施焊，每一焊道完成后应及时清理焊渣及表面飞溅物，发现影响焊接质量的缺陷时，应清除后方可再焊。连续焊接时，焊接道间温度应符合工艺文件要求。中断施焊时，应采取保温措施，保温效果不好时应进行后热处理，再次焊接时重新预热温度应高于初始预热温度。

2 坡口底层焊道采用焊条电弧焊时宜使用直径不大于 4mm 的焊条或采用气体保护焊，底层根部焊道的最小尺寸应适宜，但最大厚度不宜超过 6mm。

8.4.10 铸钢件焊接时，焊接工艺和焊接顺序应使构件的变形和收缩最小。有对称连接构件的节点宜对称于节点轴线同时对称焊接；无对称连接构件的节点，应先焊收缩量较大的接头，后焊收缩量较小的接头。

8.4.11 铸钢件焊缝缺陷的返修应符合下列规定：

- 1 焊缝金属和母材的缺陷超过相应的质量验收标准时，可

采用砂轮打磨、碳弧气刨、铲凿或机械加工等方法彻底清除。对焊瘤、凸起或余高过大等缺陷应采用砂轮或碳弧气刨清除过量的焊缝金属；对焊缝凹陷或弧坑、焊缝尺寸不足、咬边、未熔合、焊缝气孔或夹渣等应在完全清除缺陷后进行焊补。

2 经无损检测确定焊缝内部存在超标缺陷时应进行返修，返修应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。

3 焊缝返修的预热温度应比相同条件下正常焊接的预热温度提高 $30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，并应采用低氢型焊接材料进行焊接。同一部位 2 次返修后仍不合格时，应重新制定返修方案，并应经设计或监理工程师认可后方可实施。

9 防护和保养

9.1 一般规定

9.1.1 铸钢结构的防护设计应包括防腐与防火，并应同时兼顾平时维护与保养的可实施性。

9.1.2 铸钢结构的防护措施及其构造应根据工程实际、结构类型、防护要求、施工条件、工作环境、节能环保、安全可靠和经济合理等因素确定。

9.1.3 铸钢结构的防腐涂料和防火涂料涂装应在铸钢件加工质量验收合格后进行，检验批可按钢结构制作或钢结构安装工程检验批的划分原则执行。防火涂料涂装应在铸钢结构安装检验批和普通涂料涂装检验批施工质量验收合格后进行。

9.1.4 防腐涂料和防火涂料涂装环境应符合设计要求，并应有良好的通风条件。在雨、雾和灰尘条件下不应施工。无设计要求时，环境温度宜为 $5^{\circ}\text{C}\sim 38^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不宜大于85%。涂装构件表面温度应高于露点温度 3°C 以上。

9.1.5 防腐涂料和防火涂料涂装种类、涂装遍数和涂层厚度均应符合设计要求。涂层应均匀，无明显皱皮、流坠、针眼和气泡等，不应误涂、漏涂、脱皮和返锈。涂层干漆膜总厚度的允许负偏差应为 $25\mu\text{m}$ ，每遍涂层干漆膜厚度的允许负偏差应为 $5\mu\text{m}$ 。

9.1.6 防腐涂料和防火涂料涂层附着力的测试应按现行国家标准《漆膜附着力测定法》GB/T 1720 或《色漆和清漆 漆膜的划格试验》GB/T 9286 执行。

9.1.7 防腐涂料和防火涂料涂层修补应按涂装工艺分层进行，修补后的涂层应完整一致，色泽均匀，附着力良好。

9.1.8 涂装完成后，构件的标志、标记和编号应清晰完整。

9.2 防 腐

9.2.1 铸钢件表面应做防腐处理，设计文件中应注明防腐设计年限、铸钢件表面除锈等级和防腐涂料种类及涂层厚度。当采用喷射或抛射除锈时，铸钢件表面除锈质量等级不应低于现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1 的 Sa2 $\frac{1}{2}$ 级的规定；当采用手工除锈时，铸钢件表面除锈等级不应低于 St3 级。

9.2.2 表面处理完成到涂底漆的时间间隔不宜超过 4h，在此期间表面应保持洁净，严禁沾水和油污等。

9.2.3 铸钢件表面底漆和中间漆的漆膜不宜少于 3 道，且总厚度不宜小于 100 μ m。

9.2.4 对于防腐要求高的铸钢结构，可采用热镀锌工艺处理后，再涂刷防锈底漆。

9.2.5 对处于严重腐蚀的使用环境且涂装难以有效保护的主要承重铸钢结构构件，宜采用外包混凝土的防护方式。

9.3 防 火

9.3.1 铸钢结构的防火可采用外敷不燃材料或喷涂防火涂料的方式。

9.3.2 铸钢结构的防火设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定。铸钢件的耐火等级和耐火极限不应低于主体结构。

9.4 维护和保养

9.4.1 铸钢结构施工维护和保养应包括对使用环境、防腐与防火措施的维护和保养。

9.4.2 铸钢结构维护和保养，应按现行国家标准《大气环境腐蚀性分类》GB/T 15957 核查其所处环境的大气相对湿度类型、

环境气体类型和腐蚀环境类型等条件。核查结果不符合设计要求时，应按实际腐蚀类型进行维护保养。

9.4.3 铸钢结构的耐火等级和耐火极限的核查，应按现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 执行。核查结果不符合设计要求时，应按实际耐火等级和耐火极限进行防护。

9.4.4 防腐检查应包括防腐涂层外观、涂层工作性能、涂层厚度和腐蚀量。

9.4.5 防火检查应包括防火涂层外观、涂层工作性能和涂层厚度。

9.4.6 防腐蚀涂层的现场修复应符合下列规定：

1 涂层表面破损处的表面清理可采用动力或手工除锈，除锈等级应达到 St3 级；

2 修补涂料宜与原涂料配套或相容，并应符合现场施工条件与环境的要求。

9.4.7 防火涂层的现场修复应符合下列规定：

1 当防腐涂层评定不满足要求时，应先对防腐涂层进行维护保养，达到要求后再进行防火涂层的维护保养；

2 修补防火涂料宜与原涂料配套或相容，并应符合现场施工条件与环境的要求。

9.4.8 铸钢结构维护保养时应采取安全防护措施和环境保护措施。在使用过程中应规定定期检查和维护保养的要求并应建立维护保养记录。

10 检测和监测

10.1 一般规定

10.1.1 铸钢结构的检测应包括施工质量检测与工作性能检测。铸钢结构采用施工过程监测宜进行信息化施工。

10.1.2 当铸钢结构遇到下列情况之一时，应进行质量检测：

- 1 因遭受灾害、事故而造成损伤或损坏；
- 2 存在严重的质量缺陷或出现严重的腐蚀、损伤、变形；
- 3 对铸钢结构施工质量有疑问时。

10.1.3 当铸钢结构遇到下列情况之一时，应进行施工过程监测：

- 1 结构重力累积对已完成部分的安全与变形影响较大时；
- 2 施工过程中环境变化会引起较大结构响应时；
- 3 无法判断施工过程中已完成结构部分的安全性时。

10.1.4 铸钢结构的施工过程监测时间应与施工过程同步。

10.2 检测

10.2.1 铸钢结构施工过程的检测内容应包括构件进场检测、单元检测和结构焊缝检测等。

10.2.2 铸钢构件进场检测应包括几何尺寸、焊缝质量、外观质量、腐蚀状况和变形等，检测结果应符合设计要求及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。除此之外，尚应检查出厂合格证、质量保证书和检验报告等产品合格证明文件。进场检测不合格的产品不得使用。

10.2.3 结构安装前，应对构件组装、拼装单元和吊装单元等各阶段尺寸和变形进行检测，检测结果应符合设计要求及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

10.2.4 铸钢结构焊缝的尺寸偏差、外观质量和内部质量检测，应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205和《钢结构焊接规范》GB 50661执行。

10.2.5 铸钢结构的检测仪器应经计量检验部门检定合格，并应在有效期内。检测仪器精度应满足测量要求，且应保证数据的稳定和准确。

10.2.6 铸钢件焊缝内部缺陷检测适用于壁厚为8mm~150mm的全熔透焊缝的超声检测。铸钢件焊缝内部缺陷检测的探头选择、试块选择、探测面、扫查范围、仪器校准、探头的扫查移动和缺陷评定等应符合本规程附录C的规定。

10.2.7 焊缝表面缺陷宜采用磁粉检测，无法进行磁粉检测时可采用渗透检测。磁粉检测应按现行国家标准《焊缝无损检测 磁粉检测》GB/T 26951和《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级》GB/T 26952执行，渗透检测应按现行国家标准《无损检测 渗透检测 第1部分总则》GB 18851.1和《焊缝无损检测 焊缝渗透检测 验收等级》GB/T 26953执行。

10.2.8 检测时间宜选择在日照、温度、风力等影响较小的时间段。检测宜在相同条件下进行。应考虑温差对监测设备和结构尺寸检测的影响。

10.2.9 检测数据应及时收集、整理并存档。

10.3 监 测

10.3.1 铸钢结构施工期间，可对结构变形、结构内力和环境量等进行过程监测。监测内容及监测部位可根据工程要求和施工状况确定。

10.3.2 施工监测应编制专项施工监测方案。

10.3.3 施工监测仪器和设备应满足精度要求，且应保证数据稳定和准确，宜采用灵敏度高、抗腐蚀性好、抗电磁波干扰强、体积小和重量轻的传感器。

10.3.4 施工监测点布置应根据现场安装条件和施工交叉作业情

况确定，并采取可靠保护措施。应力传感器应根据设计要求和工况需要布置于结构受力最不利部位或特征部位。变形传感器或测点宜布置于结构变形较大部位。温度传感器宜布置于结构特征断面，宜沿四面和高程均匀分布。

10.3.5 铸钢结构工程变形监测等级划分及精度要求，应符合表 10.3.5 的规定。

表 10.3.5 铸钢结构工程变形监测等级划分及精度要求 (mm)

等级	垂直位移监测		水平位移监测	适用范围
	变形观测点的高程中误差	相邻变形观测点的高差中误差	变形观测点的点位中误差	
一等	0.3	0.1	1.5	变形特别敏感的高层建筑、空间结构、高耸构筑物、工业建筑物
二等	0.5	0.3	3.0	变形比较敏感的高层建筑、空间结构、高耸构筑物、工业建筑物
三等	1.0	0.5	6.0	一般性的高层建筑、空间结构、高耸构筑物、工业建筑物

- 注：1 变形观测点的高程中误差和点位中误差，指相对于临近基准的中误差；
 2 特定方向的位移中误差，可取表中相应点中误差的 $1/\sqrt{2}$ 作为限值；
 3 垂直位移监测，可根据变形观测点的高程中误差或相邻变形观测点的高差中误差，确定检测精度等级。

10.3.6 变形监测方法可按表 10.3.6 选用，也可采用多种监测方法。应力应变监测宜采用应力计、应变计等传感器。

表 10.3.6 变形监测方法

类别	监测方法
水平变形监测	三角形网、极坐标法、交会法、GPS 测量、正倒垂线法、视准线法、引张线法、激光准直法、精密测距、伸缩仪法、多点位移法、倾斜仪等

续表 10.3.6

类别	监测方法
垂直变形监测	水准测量、液体静力水准测量、电磁波测距三角高程测量等
三维位移监测	全站仪自动根据测量法、卫星实时定位测量法等
主体倾斜	经纬仪投点法、差异沉降法、激光准直法、垂线法、倾斜仪、电垂直梁法等
挠度观测	垂线法、差异沉降法、位移计、挠度计等

10.3.7 监测数据应及时采集和整理，并按频次要求采集，对漏测、误测或异常数据应及时补测或复测、确认或更正。

10.3.8 应力应变检测周期，宜与变形监测周期同步。

10.3.9 结构变形和结构内力监测时，宜同时进行测点温度、风力等环境量监测。

10.3.10 监测数据应及时进行定量和定性分析。可采用图表分析、统计分析、对比分析和建模分析等方法。

10.3.11 利用监测结果进行趋势预报时，应给出预报结果的误差范围和适用条件。

11 工程验收

11.0.1 铸钢结构工程验收应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定，无损检测应符合本规程第 10 章的有关规定。

11.0.2 铸钢结构施工质量验收应按检验批、分项工程和分部或子分部工程验收。

11.0.3 当铸钢结构作为主体结构之一时应按子分部工程竣工验收，主体结构均为铸钢结构时应按分部工程竣工验收。

11.0.4 铸钢结构分项工程宜划分为铸钢结构焊接、紧固件连接、铸钢件加工、铸钢结构组装及预拼装、铸钢结构安装、铸钢管结构安装、防腐涂料涂装和防火涂料涂装等。

11.0.5 铸钢结构分部或子分部工程验收合格质量标准应符合下列规定：

- 1 各分项工程质量均应符合合格质量标准；
- 2 质量控制资料和文件完整；

3 有关安全及功能的检验和见证检测结果及观感质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

11.0.6 铸钢结构工程质量验收记录应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

11.0.7 铸钢结构分部或子分部工程竣工验收时，应提供下列文件和记录：

- 1 铸钢结构竣工图纸及相关设计文件；
- 2 施工现场质量管理检查记录；
- 3 有关安全及功能的检验和见证检测项目检查记录；

- 4 有关观感质量检查项目检查记录；
- 5 分部或子分部工程各分项工程质量检查记录；
- 6 分项工程所含各检验批质量验收记录；
- 7 强制性条文检验项目检查验收及证明文件；
- 8 隐蔽工程检验项目检查验收记录；
- 9 原材料、成品质量合格文件、中文标志及性能检测报告；
- 10 不合格项的处理记录和验收记录；
- 11 其他有关文件和记录。

住房城乡 建设部信息公开
浏览专用

附录 A 铸钢材料性能

A.0.1 焊接结构用铸钢的化学成分、碳当量要求和力学性能应符合下列规定：

1 焊接结构用铸钢 ZG200-400H、ZG230-450H、ZG270-480H、ZG300-500H、ZG340-550H的化学成分应符合表 A.0.1-1 的规定，碳当量应符合表 A.0.1-2 的规定，室温下的力学性能应符合 A.0.1-3 的规定。

表 A.0.1-1 焊接结构用铸钢 ZG200-400H、ZG230-450H、ZG270-480H、ZG300-500H、ZG340-550H 的化学成分规定（质量分数，%）

牌号	主要元素					微量合金元素					
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo	V	总和
ZG200-400H	≤0.20	≤0.60	≤0.80	≤0.025	≤0.025						
ZG230-450H	≤0.20	≤0.60	≤1.20	≤0.025	≤0.025						
ZG270-480H	0.17~0.25	≤0.60	0.80~1.20	≤0.025	≤0.025	≤0.40	≤0.35	≤0.40	≤0.15	≤0.05	≤1.00
ZG300-500H	0.17~0.25	≤0.60	1.00~1.60	≤0.025	≤0.025						
ZG340-550H	0.17~0.25	≤0.80	1.00~1.60	≤0.025	≤0.025						

注：1 实际碳含量比表中碳上限每减少 0.01%，实际锰含量可超出表中锰上限 0.04%，但总超出量不得大于 0.20%；

2 微量合金元素一般不做分析，当有要求时，可做微量合金元素的分析。

表 A. 0. 1-2 焊接结构用铸钢 ZG200-400H、ZG230-450H、ZG270-480H、ZG300-500H、ZG340-550H 的碳当量规定 (质量分数,%)

牌 号	碳当量 $C_{eq} \leq$
ZG200-400H	0.38
ZG230-450H	0.42
ZG270-480H	0.46
ZG300-500H	0.46
ZG340-550H	0.48

注：碳当量 C_{eq} 应根据铸钢的化学成分 (质量分数,%) 按下式计算：

$$C_{eq}(\%) = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

式中：C、Mn、Cr、Mo、Ni、V、Cu 分别为各元素的质量分数 (%)。

表 A. 0. 1-3 焊接结构用铸钢 ZG200-400H、ZG230-450H、ZG270-480H、ZG300-500H、ZG340-550H 的力学性能要求 (室温)

牌 号	拉伸性能			根据合同选择	
	上屈服强度 R_{eH} (N/mm ²)	抗拉强度 R_m (N/mm ²)	伸长率 δ (%)	收缩率 ψ_z (%)	冲击功 KV_2 (J)
ZG200-400H	≥ 200	≥ 400	≥ 25	≥ 40	≥ 45
ZG230-450H	≥ 230	≥ 450	≥ 22	≥ 35	≥ 45
ZG270-480H	≥ 270	≥ 480	≥ 20	≥ 35	≥ 40
ZG300-500H	≥ 300	≥ 500	≥ 20	≥ 21	≥ 40
ZG340-550H	≥ 340	≥ 550	≥ 15	≥ 21	≥ 35

注：表中牌号铸钢力学性能是铸钢单铸块在室温下的力学性能；当从经过热处理的铸钢件或代表铸钢件的大型试块上取样时，其性能指标应符合本表规定。

2 焊接结构用低合金铸钢 G17Mn5 和 G20Mn5 的化学成分应符合表 A. 0. 1-4 的规定，碳当量应符合表 A. 0. 1-5 的规定，力学性能应符合 A. 0. 1-6 的规定。

表 A.0.1-4 焊接结构用低合金铸钢 G17Mn5 和 G20Mn5 的化学成分规定 (质量分数,%)

铸钢钢种		主要元素					微量合金元素				
牌号	材料号	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo	V
G17Mn5	1.1131	0.15~ 0.20	≤ 0.60	1.00 ~1.60	≤ 0.020	≤ 0.020	≤ 0.40	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.12	≤ 0.03
G20Mn5	1.6220	0.17~ 0.23	≤ 0.60	1.00 ~1.60	≤ 0.020	≤ 0.020	≤ 0.80	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.12	≤ 0.03

注: 1 当铸钢件厚度≤28mm, S的质量分数可不大于0.03%;

2 微量合金元素总和 Cr+Mo+Ni+V+Cu≤1%。

表 A.0.1-5 焊接结构用低合金铸钢 G17Mn5 和 G20Mn5 的碳当量规定 (质量分数,%)

牌 号	碳当量 $C_{eq} \leq$
G17Mn5	0.42
G20Mn5	0.46

注: 碳当量 C_{eq} 应根据铸钢的化学成分 (质量分数,%) 按下式计算:

$$C_{eq}(\%) = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

式中: C、Mn、Cr、Mo、Ni、V、Cu 分别为各元素的质量分数 (%)。

表 A.0.1-6 焊接结构用低合金铸钢 G17Mn5 和 G20Mn5 的力学性能要求

铸钢钢种		热处理条件			铸钢件 壁厚 (mm)	室温下			冲击功值	
牌号	材料号	状态	正火或 奥氏体 体化 (°C)	回火 (°C)		屈服强度 $R_{p0.2}$ (N/mm ²)	抗拉强度 R_m (N/mm ²)	断后 伸长率 δ (%)	温度 (°C)	冲击功 (J)
G17Mn5	1.1131	QT	920~ 980①②	600~ 700	≤50	≥240	450~600	≥24	室温	70
									-40°C	27
G20Mn5	1.6220	N	900~ 980①	—	≤30	≥300	480~620	≥20	室温	50
									-30°C	27
									室温	60
		QT	900~ 980①②	610~ 660	≤100	≥300	500~650	≥22	-40°C	27

注: 1 热处理条件中的温度值仅为参考数据, ①为空冷温度, ②为水冷温度;

2 热处理方式: N 为正火处理, QT 为淬火 (空冷或水冷) 加回火;

3 无特殊约定时, 应按保证室温下冲击功指标要求供货。

A.0.2 非焊接结构用铸钢的化学成分应符合表 A.0.2-1 的规定，力学性能应符合表 A.0.2-2 的规定。

表 A.0.2-1 非焊接结构用铸钢的化学成分规定（质量分数，%）

牌号	主要元素					微量合金元素					
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo	V	总和
ZG200-400	≤0.20	≤0.60	≤0.80	≤0.035	≤0.035	≤0.40	≤0.35	≤0.40	≤0.20	≤0.05	≤1.00
ZG230-450	≤0.30	≤0.60									
ZG270-500	≤0.40	≤0.60									
ZG310-570	≤0.50	≤0.60									
ZG340-640	≤0.60	≤0.60									

- 注：1 实际碳含量比表中碳上限每减少 0.01%，实际锰含量可超出表中锰上限 0.04%，对 ZG200-400 的锰最高至 1.00%，其余四个牌号锰含量最高至 1.20%；
2 除另有规定外，微量合金元素不作为验收依据。

表 A.0.2-2 非焊接结构用铸钢的力学性能要求（室温）

牌号	室温下拉伸性能			缺口冲击试验	
	屈服强度 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ (N/mm ²)	抗拉强度 R_m (N/mm ²)	伸长率 δ (%)	收缩率 ψ_2 (%)	冲击功 KV_2 (J)
ZG200-400	≥200	≥400	≥25	≥40	≥30
ZG230-450	≥235	≥450	≥22	≥32	≥25
ZG270-500	≥270	≥500	≥18	≥25	≥22
ZG310-570	≥310	≥570	≥15	≥21	≥15
ZG340-640	≥340	≥640	≥10	≥18	≥10

注：表中的力学性能适用于厚度为 100mm 以下的铸钢件。当铸件厚度超过 100mm 时，表中规定的屈服强度 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 仅供设计使用。

A.0.3 结构用铸钢管的化学成分应符合表 A.0.3-1 的规定，碳当量要求应符合表 A.0.3-2 的规定，力学性能应符合表 A.0.3-3 的规定。

表 A.0.3-1 结构用铸钢管的化学成分规定 (质量分数,%)

牌号	主要元素					微量合金元素					
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni	V	Nb	Ti
LX235	≤0.22	≤0.50	0.50~1.20	≤0.025	≤0.030	—	—	—	—	—	—
LX345	≤0.20	≤0.80	0.50~1.50			≤0.50	≤0.20	≤0.50	0.02~0.15	0.015~0.060	0.010~0.100
LX390	≤0.20	≤0.80	0.50~1.50			≤0.50	≤0.50	≤0.50	0.02~0.15	0.015~0.060	0.010~0.100
LX420	≤0.20	≤1.00	0.80~1.50			≤0.50	≤0.50	≤2.50	0.02~0.15	0.015~0.060	0.010~0.100

注：1 LX345、LX390 和 LX420 化学成分中，至少应包含有 V、Nb 和 Ti 中的一种，如同时含有其中两种以上元素，至少应有一种元素的含量不低于规定的最小值；

2 按照设计要求，可加入适量稀土元素，改善铸钢管的性能。

表 A.0.3-2 结构用铸钢管的碳当量规定 (质量分数,%)

牌 号	交货状态	碳当量 $C_{eq} \leq$	
		$t \leq 50\text{mm}$	$t > 50\text{mm}$
LX235	正火+回火	0.39	0.40
LX345	正火+回火	0.41	0.43
LX390	正火+回火	0.42	0.44
LX420	正火+回火	0.45	0.45

注：碳当量 C_{eq} 应根据铸钢的化学成分 (质量分数,%) 按下式计算：

$$C_{eq}(\%) = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

式中：C、Mn、Cr、Mo、Ni、V、Cu 分别为各元素的质量分数 (%)。

表 A.0.3-3 结构用铸钢管的力学性能要求

牌 号	壁厚 (mm)	上屈服强度 R_{eH} (N/mm ²)	抗拉强度 R_m (N/mm ²)	伸长率 δ (%)	0℃冲击功 (J)
LX235	≤50	≥235	400~480	≥22	≥34
	>50 ~ ≤100	≥225			
	>100	≥215			
LX345	≤50	≥325	470~550	≥21	≥34
	>50 ~ ≤100	≥295			
	>100	≥275			
LX390	≤50	≥370	490~570	≥20	≥34
	>50 ~ ≤100	≥355			
	>100	≥330			
LX420	≤50	≥400	520~600	≥19	≥34
	>50 ~ ≤100	≥380			
	>100	≥360			

- 注：1 所列性能指标系经正火和回火处理的铸钢管，有特殊要求时，铸钢管可进行调质处理；
- 2 冲击功规定的最小值适用于三个数值的平均值，数值可低于规定的最小值，但不得低于该值的70%；
- 3 -20℃或-40℃冲击功应按照设计要求确定。

附录 B 建筑常用铸钢节点形式

B.0.1 建筑用铸钢节点可采用下列几种形式：

- 1 铸钢相贯管节点（图 B.0.1-1）；
- 2 铸钢空心球节点（图 B.0.1-2）；
- 3 铸钢板式节点（图 B.0.1-3）；
- 4 铸钢铰接节点（图 B.0.1-4）；
- 5 铸钢组合节点（图 B.0.1-5）；
- 6 其他类型的铸钢节点。

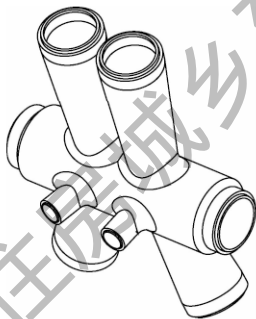


图 B.0.1-1 铸钢相贯管节点

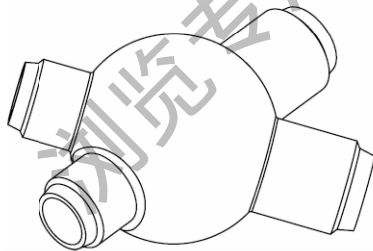


图 B.0.1-2 铸钢空心球节点

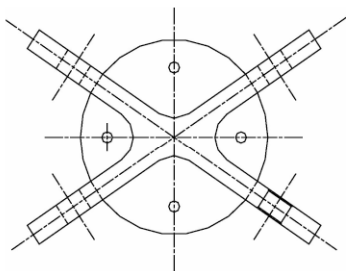


图 B.0.1-3 铸钢板式节点

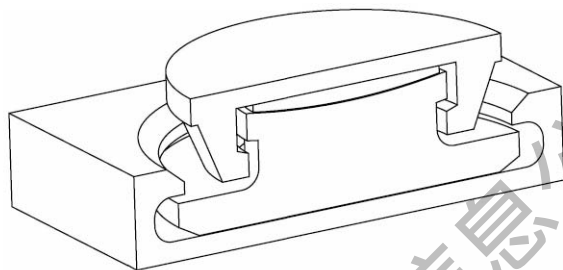


图 B. 0. 1-4 铸钢铰接节点

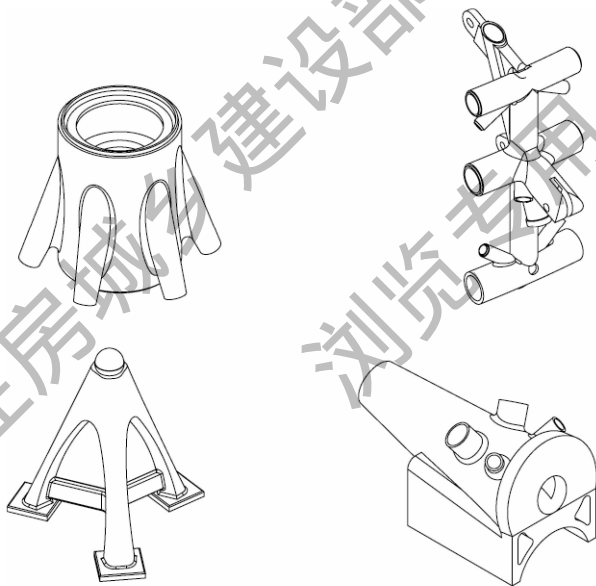


图 B. 0. 1-5 铸钢组合节点

附录 C 铸钢件焊缝内部缺陷检测

C.0.1 铸钢件焊缝内部缺陷检测的探头选择应符合下列规定：

1 探头的选用应按现行国家标准《焊缝无损检测 超声检测技术、检测等级和评定》GB/T 11345 中关于探头的技术要求执行。考虑铸钢件材料的特殊性，宜选择探头频率 2MHz~2.5MHz 或更低频率的横波斜探头。

2 也可根据实际情况选用纵波斜探头。

C.0.2 铸钢件焊缝内部缺陷检测的试块应按以下 3 种试块选取：

1 CSK- I A 标准试块及铸钢件标准试块；

2 RB-2、RB-3 试块；

3 自制与被检材料有相同声学特性的铸钢件参考试块。反射体应为试块上的横通孔（图 C.0.2），参考试块的规格应按表 C.0.2 选取。

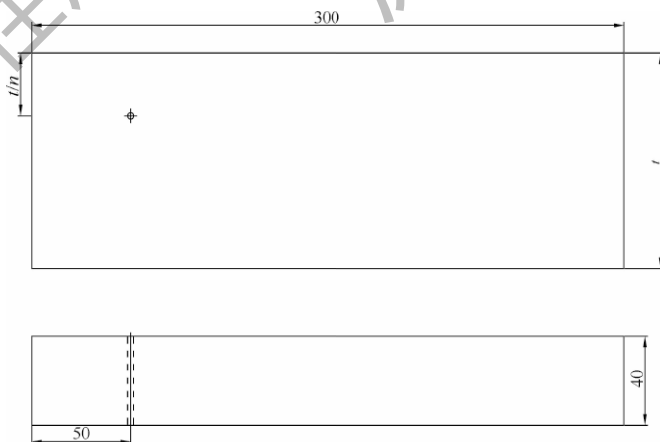


图 C.0.2 铸钢件参考试块
 t —焊缝壁厚

表 C.0.2 参考试块规格与检查焊缝铸钢件壁厚之间的关系

检查焊缝 壁厚 t (mm)	参考试块规格					
	试块 长度	试块 宽度	试块厚度 (mm)	孔的位置	横孔直径	允许偏差
≤ 25	300mm	40mm	25 或 t	1/2 t	3.00mm	孔径 ± 0.05 mm
> 25 且 ≤ 50			50 或 t	1/4 t ; 1/2 t ; 3/4 t		
> 50 且 ≤ 100			100 或 t	1/4 t ; 1/2 t ; 3/4 t		
> 100 且 ≤ 150			150 或 t	1/4 t ; 1/2 t ; 3/4 t		

注：图 C.0.2 中 t/n 可按表中孔的位置一栏 1/4 t 、1/2 t 、3/4 t 取值。

C.0.3 探测面及扫查范围应符合下列规定：

1 根据不同的板厚及接头形式，应参照表 C.0.3 选择检测面（图 C.0.3）和探头折射角或 K 值。

表 C.0.3 检测面及使用折射角或 K 值

板厚 (mm)	检测面	检测法	探头折射角	K 值
≤ 25	A 或 B	直射法及	70°	2.5, 2.0
> 25 且 ≤ 50		一次反射法	45°和 70°并用	1 和 2.5 并用
> 50 且 ≤ 100		直射法	45°、60°和 70°并用	1、1.5 和 2.5 并用

注：有条件的情况下应选用双面双侧，当条件制约时只能单面单侧时应增加探头角度。

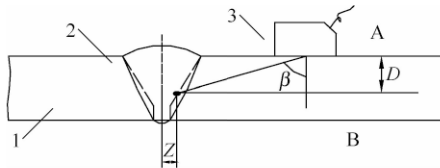


图 C.0.3 主要焊接接头超声波检测示意图

1—母材；2—焊缝；3—探头；A—检测面 A；B—检测面 B；D—缺陷深度； β —超声波探头的折射角；Z—缺陷至焊缝中心（或坡口直边）的距离

2 探头移动区应清除焊接飞溅、铁屑、油污和其他外部杂质。探伤表面应平整光滑，便于探头的自由扫查，其表面粗糙度

不应超过 $6.3\mu\text{m}$ ，探头移动区应按照现行国家标准《铸钢件超声检测 第 1 部分：一般用途铸钢件》GB/T 7233.1 进行检测。

采用直射法探伤时，探头移动区不应小于 $0.75P$ ；采用一次反射法探伤时，探头移动区域不应小于 $1.25P$ ， P 应按下式计算：

$$P = 2\delta \tan\beta \quad (\text{C.0.3})$$

式中： P ——焊缝检测参数；

δ ——母材厚度；

β ——超声波探头的折射角。

C.0.4 超声波仪器的校准应符合下列规定：

1 超声波仪器应按声程调节时基比例，最大探测范围应覆盖时基线的 $60\% \sim 90\%$ 。

2 应用对比试块调节检测灵敏度，作出距离-波幅曲线（图 C.0.4），扫查灵敏度不应低于评定线灵敏度。

3 当检测结束仪器校验时发现，仪器灵敏度低于校准灵敏度 4dB 以上，仪器应重新校准，该工作台班检测的全部焊缝应重新进行检测和评定；当发现仪器检测灵敏度高于校准灵敏度 4dB 以上时，仪器应重新校准，该工作台班检测焊缝中，已经记录为不合格的缺陷应重新进行检测和评定。

4 超声波能量传输修正 ΔV_1 应按下列方法确定。

当工件表面粗糙度 $R_a \leq 6.3\mu\text{m}$ 时，耦合补偿宜为 4dB ；当工件上下检测面非机械加工表面时，还应考虑铸钢件上下表面的不平度对超声波能量造成的损失，宜补偿 14dB ；当工件经过正火或调质等细化晶粒热处理且晶粒度大于 5 级时，可不考虑材质

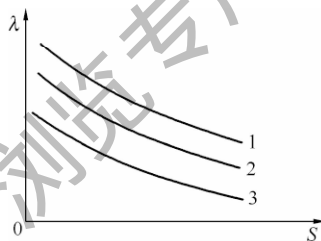


图 C.0.4 距离-波幅曲线图

1—DAC 判废线；2—DAC-6dB 定量线；
3—DAC-14dB 评定线；S—距离 (mm)；
λ—波幅 (dB)

衰减造成的声能损失，否则需进行补偿。

C.0.5 检测时探头的扫查移动，应以锯齿形扫查移动为主，移动探头时应辅以±(10°~15°)的左右摆动，探头每次横向移动的重叠宽度，不应小于探头晶片有效宽度的10%，扫查速度不应超过150mm/s。

C.0.6 检测中当发现有超过定量线波幅高度的缺陷时，应根据探头所在位置及仪器显示的数值，判定缺陷的位置、深度和长度，同时应符合下列规定：

1 对于波幅超过定量线的缺陷或判定为裂纹、未熔合等危险性缺陷时，应测定缺陷在焊缝方向的位置、缺陷声程距离、缺陷水平距离或简化水平距离和缺陷在焊缝中的深度。

2 缺陷的定量应以最大波幅所在的区域表示。

3 超过评定线的信号应注意其是否有裂纹、未熔合等危险性缺陷特征，如有怀疑应采取改变探头角度、增加探测面、观察动态波形并结合结构工艺特征作判定。

4 波幅位于Ⅲ区的缺陷及确定为裂纹的缺陷，所检测的焊缝应判为不合格（Ⅳ级）；波幅位于Ⅱ区的缺陷应按表C.0.6评定焊缝级别。

表 C.0.6 缺陷评定

级 别	允许缺陷长度
I	$t/3$ ；最小6mm，最大40mm
II	$2t/3$ ；最小8mm，最大70mm
III	$3t/4$ ；最小12mm，最大90mm
IV	超过Ⅲ级者

注：t为坡口加工侧母材的板厚。母材板厚不同时，以薄板侧板厚为准。

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 2 《建筑设计防火规范》GB 50016
- 3 《钢结构设计规范》GB 50017
- 4 《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068
- 5 《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153
- 6 《构筑物抗震设计规范》GB 50191
- 7 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 8 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 9 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 10 《钢结构工程施工规范》GB 50755
- 11 《钢的成品化学成分允许偏差》GB/T 222
- 12 《钢铁及合金化学分析方法》GB/T 223
- 13 《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》
GB/T 228.1
- 14 《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》GB/T 229
- 15 《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 985.1
- 16 《埋弧焊的推荐坡口》GB/T 985.2
- 17 《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228
- 18 《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229
- 19 《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230
- 20 《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231
- 21 《漆膜附着力测定法》GB/T 1720
- 22 《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1

- 23 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632
- 24 《碳素钢和中低合金钢多元素含量的测定火花放电原子发射光谱法》GB/T 4336
- 25 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
- 26 《热强钢焊条》GB/T 5118
- 27 《埋弧焊用碳素钢焊丝和焊剂》GB/T 5293
- 28 《铸钢件射线照相检测》GB/T 5677
- 29 《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780
- 30 《六角头螺栓》GB/T 5782
- 31 《表面粗糙度比较样块铸造表面》GB/T 6060.1
- 32 《铸件尺寸公差与机械加工余量》GB/T 6414
- 33 《铸钢件 超声检测 第 1 部分：一般用途铸钢件》GB/T 7233.1
- 34 《焊接结构用铸钢件》GB/T 7659
- 35 《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110
- 36 《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1
- 37 《色漆和清漆漆膜的划格试验》GB/T 9286
- 38 《铸钢件渗透检测》GB/T 9443
- 39 《铸钢件磁粉检测》GB/T 9444
- 40 《焊接与切割安全》GB 9448
- 41 《热处理炉有效加热区测定方法》GB/T 9452
- 42 《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045
- 43 《焊缝无损检测 超声检测技术、检测等级和评定》GB/T 11345
- 44 《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352
- 45 《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470
- 46 《熔化焊用钢丝》GB/T 14957
- 47 《铸造表面粗糙度评定方法》GB/T 15056

- 48 《大气环境腐蚀性分类》GB/T 15957
- 49 《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493
- 50 《无损检测 渗透检测 第1部分总则》GB 18851.1
- 51 《钢和铁化学成分测定用试样的取样和制样方法》GB/T 20066
- 52 《焊缝无损检测 磁粉检测》GB/T 26951
- 53 《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级》GB/T 26952
- 54 《焊缝无损检测 焊缝渗透检测 验收等级》GB/T 26953
- 55 《热切割气割质量和尺寸偏差》JB/T 10045.3